

# LES CAOUTCHOUCS DANS LES COLLECTIONS PATRIMONIALES

## Fiches d'identification des caoutchoucs

Volume II

Gwenola CORBIN



**Recherches menées avec le soutien du Centre national des arts plastiques (CNAP)  
Ministère de la culture et de la communication  
2010-2011**

Tuteur : Gilles BARABANT  
Responsable de la filière nouveaux matériaux et art contemporain  
du département de restauration du C2RMF (Centre de Recherche des Musées de France)

Scientifique associé : Alain COLOMBINI  
Chimiste au CICRP (Centre Inter-régional de Conservation et de Restauration  
du Patrimoine, Marseille), spécialisé dans le domaine de l'art contemporain

# SOMMAIRE

## LES CAOUTCHOUCS NATURELS

Polyisoprène naturel ou caoutchouc naturel (NR)	p.5
Gutta Percha et Balata	p.8
Crêpe	p.10

## LES DERIVES DU CAOUTCHOUC NATUREL

Les dérivés sont issus de modifications chimiques du caoutchouc naturel visant à améliorer certaines de ses qualités.

Ébonite ou Vulcanite	p.12
Caoutchouc oxydé	p.15
Caoutchouc chloré	p.16
Caoutchouc cyclisé ou isomérisé	p.18

## LES CAOUTCHOUCS SYNTHETIQUES

Les caoutchoucs synthétiques sont des polymères possédant des qualités semblables à celles du caoutchouc naturel.

Polybutadiène (BR)	p.20
Copolymère butadiène-styrène (SBR ou GRS)	p.22
Nitrile butadiène ou caoutchouc nitrile ou copolymère acrylonitrile butadiène (NBR)	p.25
Polyisoprène synthétique ou caoutchouc polyisoprène (IR)	p.29
Caoutchouc isoprène isobutylène ou caoutchouc butyle (IIR)	p.31
Polychloroprène (CR)	p.34
Éthylène propylène diène polyméthylène (EPDM) et éthylène propylène (EPM ou EPR)	p.40
Copolymère d'éthylène-acétate de vinyle (EVM)	p.41
Caoutchouc de polyéthylène chloré (CM)	p.43
Caoutchouc de polyéthylène chlorosulfoné (CSM)	p.46
Caoutchouc acrylique (ACM)	p.49
Caoutchouc d'épichlorohydrine (CO, ECO et ETER)	p.51
Élastomères fluorés (FKM, FPM, CFM)	p.53
Silicone ou polysiloxane (Q, MQ, PMQ ou PVMQ)	p.55
Caoutchouc aux polysulfures (T ou TM)	p.59

Tableau récapitulatif des domaines d'utilisation des caoutchoucs	p.61
Tableau récapitulatif des propriétés des caoutchoucs	p.64

## INTRODUCTION

Ces fiches ont pour objectif d'aider à l'identification et à la connaissance des caoutchoucs présents dans les collections patrimoniales. Sont évoqués dans ce document, les caoutchoucs naturels et synthétiques que l'on peut rencontrer le plus fréquemment. Chaque caoutchouc est désigné par le ou les nom(s) le plus souvent attribué(s). Entre parenthèses sont indiquées ses initiales correspondant à son appellation en anglais. Celles-ci se rencontrent fréquemment dans la littérature technique et sont importantes à connaître.

Chaque fiche se compose des entrées suivantes :

### **Photographies :**

*Les photographies permettent de prendre connaissance de l'aspect que peut avoir le caoutchouc décrit par la fiche technique, des objets qui peuvent être fabriqués avec celui-ci.*

### **Formule chimique et composition :**

*Les formules chimiques et les composants sont décrits. Rappelons cependant que les compositions des caoutchoucs ne cessent d'évoluer.*

### **Historique/Fabrication :**

*Connaître la date de mise sur le marché du caoutchouc peut aider à l'identification.*

### **Applications :**

*Les domaines d'utilisation du caoutchouc et les types d'objets qu'il permet de fabriquer sont décrits. Un tableau récapitulatif par domaine d'utilisation est établi aux pages 62 à 64.*

### **Marques/Producteurs :**

*La plupart des références répertoriées sont issues de l'ouvrage de Werner Horfmann, datant de 1989. Il se peut donc que certaines marques n'existent plus. En outre ces indications ne sont pas exhaustives.*

### **Caractéristiques/Propriétés :**

*Connaître les caractéristiques d'un caoutchouc peut nous aider à l'identifier, à comprendre son vieillissement, mais aussi à prendre les mesures adéquates de conservation. Cependant les propriétés d'un élastomère sont très variables et dépendent du mode et du degré de vulcanisation, de ses composants et de ses additifs. Ces indications sont donc à considérer avec un certain recul.*

*Les données, telles que la température d'utilisation, la résistance à la traction... sont mentionnées à titre indicatif, car elles peuvent varier d'un fabricant à l'autre, d'une référence bibliographique à l'autre.*

*Un tableau récapitulatif des propriétés est établi aux pages 65 à 67.*

### **Caractéristiques olfactives, tactiles, visuelles :**

*Ces indications, certes empiriques, peuvent nous mettre sur la voie quant à la reconnaissance de l'élastomère.*

### **Vieillessement/Altérations :**

*Connaître le processus de vieillissement du matériau peut nous aider à adapter sa conservation.*

### **Tests micro-chimiques :**

*Lorsqu'on peut réaliser un prélèvement, ces tests assez faciles à mettre en œuvre, permettent également la reconnaissance des caoutchoucs. Notons cependant que ces tests peuvent être faussés par la complexité de la composition de l'élastomère, par la présence d'additifs ou encore par le vieillissement du matériau lui-même. Le déroulement de ces tests est détaillé dans le volume I (cf. Les tests micro-chimiques, p.24).*

Les ouvrages ayant permis la réalisation de ces fiches sont les suivants :

ANGELIER, Marie-José. - *Programme d'entreprise indéterminée. Enjeux de conservation et restitution d'une installation de Fabrice Hyber* – Diplôme de Conservation – restauration de l'Ecole Supérieure d'Art d'Avignon, 2010.

BOST, Jean. – *Matières plastiques: chimie - applications* – Paris : éd. Technique et documentation, 1980.

BRAUN, D., SAECHTLING, H. - *Simple Methods for Identification of Plastics* - Hanser Gardner, Munich, 4ème édition, 1999.

HORFMANN, Werner. - *Rubber Technology Handbook* - Munich, Vienna, New-York : Hanser, 1989.

HUMMEL, D.O., SCHOLL, F. – *Atlas of polymer and plastics analysis* – vol.2, Vienne, Carl Hanser Verlag, 1985.

KRAUSE, Anneliese, LANGE, Anfried, ERZIN, Myer. - *Plastics analysis guide. Chemical and instrumentals methods*, München: Hanser Publication, 1983.

ODEGAARD, N., CAROLL, S., ZIMMT, W.S. - *Material Characterization Tests for Objects of Art and Archaeology* - Archetype Publications, London, 2000.

PHILIP, A., SCHWEITZER, P.E. - *Mechanical and Corrosion-Resistant Properties of Plastics and Elastomers* – New-York Basel, Marcel Dekker, 2000.

VARICHON, Anne; ROCCELLA, Carlo. - *Etre caoutchouc* – Paris: Editions du Seuil, 2006.

SCOTT, Williams. – *Détérioration des objets en caoutchouc ou en plastique* – Notes de l'ICC, 15/1, Canada, 1997.

POLYISOPRENE NATUREL  
ou CAOUTCHOUC NATUREL (NR)

---

Photographies :



*Élastique*



*Courroie, charge ocre rouge, craquelures profondes et non orientées*



*Bouillotte, charge ocre rouge*



*Joint de chasse d'eau*



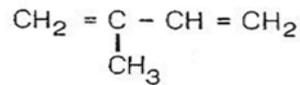
*Joint de bocal, charge ocre, moisissures*

**Formule chimique et composition :**

Le caoutchouc naturel est essentiellement issu de l'*Hévéa Brasiliensis*.

On peut parfois rencontrer le terme *caoutchouc de Para* (Pará est un état du Nord du Brésil, lieu de production de caoutchouc naturel) pour désigner la gomme issue de l'Hévéa.

Le caoutchouc naturel est un polyterpène linéaire (cis-1,4-polyisoprène) de formule  $(C_5H_8)_n$ , un hydrocarbure insaturé.

**Historique/Fabrication :**

Le latex issu de l'Hévéa est le mieux adapté à la fabrication du caoutchouc. Il est coagulé à l'aide d'un acide, puis pressuré en pains ou galettes et séché. Il est déchiqueté dans un masticateur. Des charges lui sont ajoutées pour le rendre élastique et résistant. Il est ensuite vulcanisé afin d'améliorer sa résistance à la déformation.

**Applications :**

Le caoutchouc naturel est aujourd'hui peu employé. Il a été remplacé par des caoutchoucs synthétiques présentant des propriétés spécifiques.

- pneus et chambres à air
- talons et semelles de chaussures
- joints d'étanchéité
- objets à parois fines, souples et résistantes comme des gants chirurgicaux, préservatifs, ...
- produits pour le domaine pharmaceutique et alimentaire : tétines...

**Caractéristiques/Propriétés :****Chimiques :**

Non polaire

Faible résistance au gonflement au contact des solvants non polaires

Gonflement important au contact des huiles végétales ou minérales, de l'éther de pétrole, du benzène, des hydrocarbures chlorés, du toluène

Gonflement moindre dans les alcools, les cétones, et les esters

**Physiques et mécaniques :**

Haute résistance à la traction et à la déchirure, à l'abrasion, à la compression

Bonne déformation rémanente après compression à température ambiante ou un peu élevée, mais très médiocre à hautes ou basses températures

Reste flexible à basse température

Haute élasticité de rebondissement

Allongement à la rupture : 500 – 760%  
Résistance à la traction : non chargé : 20/mm<sup>2</sup>; chargé : 22 N/mm<sup>2</sup>  
Dureté Shore A : 40-100

**Résistance à la chaleur, à l'ozone et aux agents atmosphériques :**

Faible résistance à la chaleur (Plage de température d'utilisation : -60 à 120°C), à l'ozone, aux agents atmosphériques et à l'essence, aux huiles animales et végétales

Imperméabilité à l'eau et aux gaz

**Électriques :**

Bonnes propriétés électriques (isolant électrique), sauf si le caoutchouc est chargé de noir de carbone

**Caractéristiques olfactives, tactiles, visuelles :**

Couleur jaune à orange lorsque le caoutchouc n'est pas chargé, atteignant le brun foncé en vieillissant.

**Vieillessement/Altérations :**

OXYDATION : au début du processus d'oxydation, le NR aura tendance à se ramollir, puis finalement deviendra rigide.

OZONOLYSE : craquelures profondes, orientées et effritements

UV : craquelures désorientées, effritements, changement de couleur

**Tests micro-chimiques :**

DENSITE : 0,92 – 1,0 g/cm<sup>3</sup>

PYROLYSE : s'enflamme facilement. Continue à brûler après le retrait de la flamme. Brûle en dégageant beaucoup de fumée. L'endroit brûlé est collant après refroidissement. Une odeur très caractéristique de caoutchouc brûlé se dégage.

TEST WEBER : test réalisé à l'aide de réactifs et indiquant la présence de polyisoprène naturel ou synthétique, par une couleur passant du rose au violet. On peut ne pas obtenir de résultat si les doubles liaisons du caoutchouc ont diminué sous l'effet de l'oxydation. Par ailleurs, le résultat ne sera pas visible si le caoutchouc est chargé de noir de carbone.

PYROLYSE ET REACTIFS : les vapeurs de pyrolyse entraînent une coloration jaune d'or d'un papier filtre imbibé préalablement d'une solution d'oxyde de mercure jaune dans de l'acide sulfurique.

TEST BURCHFIELD ET OSTROMOW : Couleur de la solution I : jaune, de la solution II : bleu; Comportement du résidu de la pyrolyse I : coule, II : flotte. Couleur avec le réactif III : rouge-violet; couleur du résidu : rouge-brun. Ces tests doivent être recoupés par d'autres types de tests, car les charges, la température de pyrolyse, le vieillissement de l'élastomère... ont un impact sur le résultat.

INDICE D'IODE : 345-375

## GUTTA-PERCHA et BALATA

---

### Photographies :



*Balles de golf en gutta-percha  
« Être caoutchouc » ©*

### Formule chimique et composition :

Issus d'arbres de la famille *Sapotaceae*

La molécule possède une structure stérique : trans-1,4 – polyisoprène, contrairement au NR qui est un cis-1,4- polyisoprène.

### Historique/Fabrication :

La gutta-percha est également appelée gomme de Sumatra.

Le balata est parfois désigné comme la gutta-percha du Surinam.

### Applications :

- Isolement de câbles électriques pour la gutta-percha
- Gaines de transmission et enveloppes de balles de golf pour le balata
- Câbles sous-marins

Aujourd'hui ces matériaux sont remplacés par des plastiques.

### Marques/Producteurs :

**Caractéristiques/Propriétés :**

Diffère du NR par leur haute teneur en résine

On a fait de la gutta-percha un ersatz intéressant de l'ivoire et de l'ébène

**Chimiques :**

Insensible à la plupart des agents corrosifs.

**Physiques et mécaniques :**

Très dur et pratiquement pas élastique

Propriétés thermoplastiques : au-dessus de 60°C passage à un état plastique

**Résistance à la chaleur, à l'ozone et aux agents atmosphériques :**

Isolant thermique

**Caractéristiques olfactives, tactiles, visuelles :****Vieillessement/Altérations :****Tests micro-chimiques :**

## CREPE

---

### Photographies :



*Gomme crêpe*



*Semelle de crêpe, (Musée de la Chaussure, Romans)*

### Formules chimiques et composition :

Caoutchouc brut (c'est-à-dire non vulcanisé) obtenu par coagulation du latex

### Historique/Fabrication :

Après séchage du coagulum de latex, on obtient une masse caoutchoutique dont la couleur va du jaune au brun. Les « pales crêpes » ou crêpes blancs sont de meilleure qualité que les « brown crêpes » et « smoked crêpes ».

### Applications :

- gomme
- semelles de chaussures
- couvertures isolantes

### Marques/Producteurs :

**Caractéristiques/Propriétés :**

***Chimiques :***

Extrêmement sensible aux solvants : gonfle rapidement et de manière importante (sensible notamment aux hydrocarbures)

***Physiques et mécaniques :***

Thermoplastique

Sensible à la déformation

**Caractéristiques olfactives, tactiles, visuelles :**

Touché un peu collant

**Vieillessement/Altérations :**

**Tests micro-chimiques :**

## EBONITE ou VULCANITE

---

### Photographies :



*Bâtonnets*



*Étui à lunettes  
In « Être caoutchouc » ©*



*Roulette pour papier peint, fût en ébonite*

### Formule chimique et composition :

### Historique/Fabrication :

Nelson Goodyear dépose le brevet en 1851, sous le nom d'ébonite ; raccourci qui conjugue la sève transformée de l'hévéa sud-américain et le bois d'ébène africain, dont elle a l'aspect et certaines qualités.

Matière issue d'une erreur de dosage du soufre et d'un excès de chaleur.  
L'ébonite est obtenue à la suite d'une survulcanisation. Ce matériau plastique thermodurcissable est issu d'un mélange à chaud de 100 parties de NR avec 32 parties de soufre.

**Applications :**

Utilisé comme isolant électrique ou pour la fabrication de petits objets par moulage par compression.

- Utilisé comme revêtements à la feuille de surfaces métalliques
- A servi également à la fabrication de stylos de luxe, des premiers appareils photo et radio, de cannes et camées, de combinés téléphoniques, boules de bowling, boutons moulés, prothèses dentaires, interrupteurs.
- Les facteurs d'instruments l'ont employé pour la réalisation de tuyaux d'orgue et touches de clavier, hautbois et clarinettes, instruments à percussion et accordéons.

**Marques/Producteurs :**

**Caractéristiques/Propriétés :**

**Chimiques :**

Résistante aux agents chimiques

**Physiques et mécaniques :**

Matière (souvent noire) dure, dépourvue d'élasticité, luisante

Forte résistance à la traction

**Électriques :**

Pouvoir isolant élevé

**Caractéristiques olfactives, tactiles, visuelles :**

**Vieillessement/Altérations :**

DEGAGEMENTS ACIDES : L'ébonite contient une forte proportion de soufre qui, au cours du vieillissement, réagit d'abord avec l'oxygène puis avec l'eau pour donner de l'acide sulfurique. Les objets en ébonite peuvent donc présenter des surfaces acides. Ils ne doivent pas être conservés à proximité d'objets sensibles aux acides. Le milieu où ils se trouvent doit être aéré. Ils ne peuvent être stockés dans des milieux clos, comme des enveloppes imperméables aux gaz, car ces objets provoqueront rapidement un milieu acide qui accélèrera leur dégradation. Diminuer le taux d'humidité du lieu de conservation permet par ailleurs de réduire la quantité d'acide produit. L'absence de lumière dans le lieu de stockage est également recommandé.

**Tests micro-chimiques :**

DENSITE : 1,08 – 1,25 g/cm<sup>3</sup> (non chargée) et 1,25-1,80 g/cm<sup>3</sup> (chargée)

PYROLYSE : Odeur de soufre importante lorsqu'on le brûle

## CAOUTCHOUC OXYDE

---

### Photographies :

### Formule chimique et composition :

### Historique/Fabrication :

Le caoutchouc oxydé est obtenu par oxydation catalytique ou par passage d'un courant d'air dans une solution de caoutchouc, en présence de siccatifs comme catalyseurs.  
Il se vulcanise avec une moyenne de 25 à 30% de soufre.

### Applications :

- des vernis et laques
- des peintures isolantes de grande résistance
- des adhésifs
- des produits moulés

### Marques/Producteurs :

- Rubbone (résine orange ou jaune qui est mélangée avec des peintures ou des vernis)

### Caractéristiques/Propriétés :

#### **Chimiques :**

Bonne résistance aux agents chimiques

#### **Physiques et mécaniques :**

Bonne résistance mécanique

#### **Résistance à la chaleur, à l'ozone et aux agents atmosphériques :**

Bonne tenue à la chaleur (jusqu'à 350°C)

### Caractéristiques olfactives, tactiles, visuelles :

### Vieillessement/Altérations :

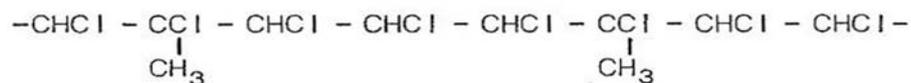
## CAOUTCHOUC CHLORE

---

### Photographies :

### Formule chimique et composition :

Introduire du chlore dans une solution de caoutchouc provoque la saturation des doubles liaisons.



### Historique/Fabrication :

Premier brevet de caoutchouc chloré déposé en 1915 par S.J. Peachy, en Grande-Bretagne. On fait varier la viscosité du caoutchouc en ajoutant du chlore.

### Applications :

- peinture (notamment peintures anti-corrosives) et vernis
- colles pour caoutchouc synthétique sur métal
- matériaux cellulaires ayant une grande légèreté, ininflammable, et d'excellentes qualités d'isolement thermique et sonore.

### Marques/Producteurs :

- Alloprène
- Pergut
- Parlon
- Rulacel

### Caractéristiques/Propriétés :

#### **Chimiques :**

Grande résistance aux agents chimiques et aux acides

#### **Résistance à la chaleur, à l'ozone et aux agents atmosphériques :**

Bonne tenue à l'eau

Faible perméabilité à la vapeur

Ininflammable

**Caractéristiques olfactives, tactiles, visuelles :**

**Vieillessement/Altérations :**

**Tests micro-chimiques :**

PYROLYSE : difficile à enflammer, s'arrête de brûler lors du retrait de la flamme, flamme verte, odeur d'acide hydrochloré.

On peut utiliser un papier pH lors de la pyrolyse afin de confirmer un pH acide provoqué par la présence de chlore. L'ajout de 6 gouttes d'eau sur l'échantillon étudié et de 2 gouttes de nitrate d'argent, provoquera un précipité blanc indiquant la présence possible de chlore. Le résultat est confirmé par l'ajout de quelques gouttes de solution d'ammoniaque qui dissolvent le précipité.

TEST DE BELSTEIN : pour identifier la présence de chlore

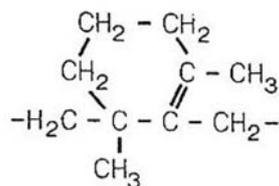
## CAOUTCHOUC CYCLISE OU ISOMERISE

---

### Photographies :

### Formule chimique et composition :

Il s'agit de la même formule que le caoutchouc naturel mais une double liaison sur deux s'ouvre pour former des cycles hexagonaux réguliers.



Il existe à l'état naturel deux isomères de l'isoprène, l'un *cis*, l'autre *trans*, et lorsqu'on a essayé de passer de la forme *cis* à la forme *trans*, on a obtenu des produits différents de la gutta-percha, moins insaturés que le caoutchouc de départ. Cette diminution de l'insaturation est due à des cyclisations, qui n'existent pas dans la gutta-percha.

### Historique/Fabrication :

La cyclisation du caoutchouc fut réalisée en 1910 par C. Harries, en Grande-Bretagne.

La cyclisation s'obtient par traitement à la chaleur ou par agents chimiques (composés à réaction acide ou capables de libérer des acides).

### Applications :

- peintures anti-rouille, anti-corrosion, pour piscine...
- ciments de scellement
- adhésifs entre caoutchoucs et autres matériaux
- revêtements anti-acides sur métaux

### Marques/Producteurs :

- Surcoprène
- Alpex
- Plastoprène
- Synthex
- Cyklosit

**Caractéristiques/Propriétés :**

**Chimiques :**

Inertie chimique

**Physiques et mécaniques :**

Dur et cassant (donc nécessite des plastifiants)

Résistant à l'abrasion

**Résistance à la chaleur, à l'ozone et aux agents atmosphériques :**

Résistant à la chaleur

**Caractéristiques olfactives, tactiles, visuelles :**

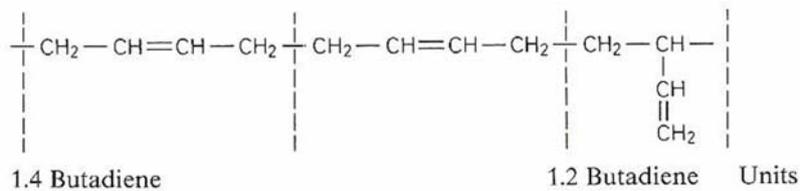
**Vieillessement/Altérations :**

**Tests micro-chimiques :**

## POLYBUTADIENE (BR)

### Photographies :

### Formule chimique et composition :



### Historique/Fabrication :

Créé au début des années 1960 par Goodyear et Schell (États-Unis).

Le BR est recommandé dans la fabrication de composés de moulages par injection.

Le BR est généralement employé en mélange avec le NR ou le SBR, ce qui permet d'améliorer la capacité à contenir des charges importantes d'huile et de noir de carbone, d'obtenir de hauts taux d'extrusion, une haute résistance et un meilleur écoulement au moulage, une meilleure résistance à l'échauffement et aux craquelures. Le NR mélangé au BR présente également une meilleure résistance au vieillissement.

### Applications :

- Le premier usage du polybutadiène concerne l'industrie du pneumatique.
- semelles de chaussures et tapis roulant nécessitant une haute résistance à l'abrasion

### Marques/Producteurs :

- |   |   |
|---|---|
| • Afdene BR / Carbochem (USA)           | Duragene / General Tire (USA)                 |
| • Ameripol CB / BFGoodrich (Pays-Bas)   | Europrene Cis / Enichem(Suisse)               |
| • Asadene / Asahi Chemicals (Japon)     | Finaprene / Petrochim(Belgique)               |
| • Budene / Goodyear (France)            | Intene, Intolene / Enichem(Suisse)            |
| • Buna CB / Bunawerke Hüls (Allemagne)  | JSR-BR / Japan Synthetic Rubber (Japon)       |
| • Buna 85 et Buna DB / Mobay Corp (USA) | Nipol / Nippon Zeon (Japon)                   |
| • Cariflex BR / Shell (GB)              | Philips Cis 4 / Phillips Petroleum (Belgique) |
| • Cis / VEB Buna (Allemagne)            | Solprene / Calatrava (Espagne)                |
| • Cisdene/ American Chemicals (USA)     | Synpol EBR / Synpol (USA)                     |
| • Diene / Firestone (USA)               | Taktene / Polysar (Suisse)                    |

**Caractéristiques/Propriétés :**

Produit jaune ayant l'aspect du crêpe

Il n'est pas intéressant de l'employer seul (généralement employé en mélange avec le NR et le SBR).

**Chimiques :**

Comme le NR, faible résistance aux hydrocarbures aliphatiques et aromatiques, aux huiles et éther de pétrole

Bonne résistance aux composés oxygénés et acides minéraux, à l'eau

**Physiques et mécaniques :**

Il confère aux pneumatiques une haute résistance à l'abrasion.

Mauvaise adhérence sur sol mouillé, ce qui nécessite qu'il soit employé en mélange avec le SBR ou le NR

Résistance à la traction : non chargé : 3 N/mm<sup>2</sup>; chargé de noir de carbone : 20 N/mm<sup>2</sup>

Dureté Shore A : 45-80

**Résistance à la chaleur, à l'ozone et aux agents atmosphériques... :**

Excellente tenue au froid

Bonne résistance aux agents atmosphériques, faible résistance à l'ozone

**Électriques :**

Bonnes propriétés électriques

**Caractéristiques olfactives, tactiles, visuelles :****Vieillessement/Altérations :**

OXYDATION : la réticulation prédomine sous l'effet de l'oxydation pour ce type de caoutchouc.

OZONOLYSE : craquelures profondes, orientées et effritements

**Tests micro-chimiques :**

DENSITE : 0,96 – 1,01 g/ml

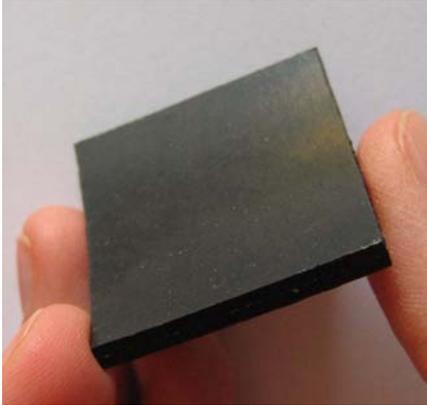
PYROLYSE : continue à brûler lors du retrait de la flamme. L'échantillon brûlé est ramolli. La flamme est jaune. Une odeur de caoutchouc brûlé se dégage.

PYROLYSE ET REACTIFS: les vapeurs de pyrolyse entraînent une coloration brune d'un papier filtre imbibé préalablement d'une solution d'oxyde de mercure jaune dans de l'acide sulfurique.

INDICE D'IODE : 385-440

## COPOLYMERE BUTADIENE-STYRENE (SBR)

### Photographies :

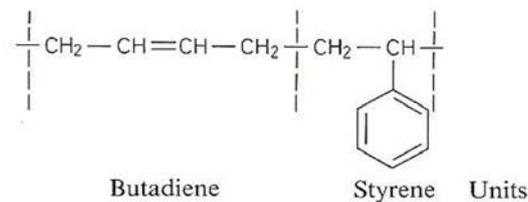


NR-SBR



SBR – EPDM revêtement anti-vibratoire

### Formules chimiques et composition :



### Historique/Fabrication :

En 1929, E. Tchunkur et A. Bock ont découvert que le mélange de butadiène et de styrène pouvait polymériser en émulsion.

Le GRS, copolymère styrène-butadiène est mis au point aux États-Unis au début des années 1940. Il est ensuite devenu le SBR.

Le premier SBR commercialisé en Allemagne est le Buna. Il est le premier élastomère commercial mis au point en Allemagne par l'industrie I.G. Farben. Sa production se termine en 1945. Ce caoutchouc présentait des difficultés de mise en œuvre et de mauvaises propriétés mécaniques. Il était employé en pneumatique.

Les Buna S et SS sont une copolymérisation du butadiène avec le styrène.

Les Bunas N et NN (ou Perbunans) sont des copolymères de butadiène et de nitrile acrylique.

Les Bunas chiffres (Buna 85 et Buna 115) sont des polymères de butadiène.

Les Russes le désignent sous le terme SK.

**Applications :**

Mêmes applications que le NR

- bottes, semelles
- gants
- chewing-gum
- pneu, chenilles (souvent en mélange avec le NR et le BR dans le domaine des pneumatiques)
- semelles de rail
- courroies, câbles isolants, gainages, tuyaux (résistant aux solvants)
- produits dans le domaine alimentaire et pharmaceutique

**Marques/Producteurs :**

- |  |  |
|--|--|
| • Afsol / <i>Carbochem (USA)</i>                 | • Finaprene / <i>Petrochim (Belgique)</i>          |
| • Ameripol / <i>BFGoodrich (Pays-Bas)</i>        | • Humex / <i>Hules Mexicanos (Allemagne)</i>       |
| • Austrapol / <i>Australian Synthetic Rubber</i> | • Intol, Intex / <i>Enichem (Suisse)</i>           |
| • Buna EM / <i>Bunawerke Hüls (Allemagne)</i>    | • KER / <i>Ciech-Stomil (Pologne)</i>              |
| • Buna SB / <i>VEB Buna (Allemagne)</i>          | • Kratex / <i>Chemopetrol (République Tchèque)</i> |
| • Cariflex S / <i>Shell (GB)</i>                 | • Krylene, Krynol / <i>Polysar (Suisse)</i>        |
| • Carom / <i>Danubiana (Roumanie)</i>            | • Nipol / <i>Nippon Zeon (Japon)</i>               |
| • Copo / <i>Copolymer (USA)</i>                  | • Polysar S / <i>Polysar ((Suisse)</i>             |
| • Diapol / <i>Mitsubishi (Japon)</i>             | • Sirel / <i>SIRmo SBR / Sumitomo (Japon)</i>      |
| • Europrene, Unidene / <i>Enichem (Suisse)</i>   | • Tufprene / <i>Asahi Chemicals (Japon)</i>        |

**Caractéristiques/Propriétés :****Chimiques :**

Basse polarité

Résistant aux alcools, à l'eau

Mauvaise résistance aux huiles, éther de pétrole et hydrocarbures

**Physiques et mécaniques :**

Excellente résistance à l'abrasion

**Résistance à la chaleur, à l'ozone et aux agents atmosphériques :**

Aucune résistance à l'ozone et à l'action des agents atmosphériques

Excellente résistance à la chaleur (plage de températures utiles : -60 à 120°C)

Bonne résistance à la fatigue

Le SBR est inférieur au NR pour la mise en œuvre, la résistance à la traction et au déchirement, l'adhésivité et l'échauffement interne

Le SBR est supérieur au NR en ce qui concerne la perméabilité, le vieillissement, la résistance à la chaleur et à l'usure.

L'action renforçante du noir de carbone est plus prononcée sur le SBR que sur le NR.

Allongement à la rupture : 450 – 500%

Résistance à la traction : non chargé : 6; chargé de noir de carbone : 20 N/mm<sup>2</sup>

Dureté Shore A : 35-90

**Électriques :**

Bonnes propriétés électriques mais non exceptionnelles

**Caractéristiques olfactives, tactiles, visuelles :**

**Vieillessement/Altérations :**

OXYDATION : la réticulation prédomine sous l'effet de l'oxydation pour ce type de caoutchouc.

OZONOLYSE : craquelures profondes, orientées et effritements

EFFLORESCENCES : Le SBR a tendance à présenter des efflorescences en surface causées par des stabilisateurs ajoutés dans la formulation.

**Tests micro-chimiques :**

PYROLYSE : odeur de styrène

TEST WEBER : test réalisé à l'aide de réactifs et indiquant la présence de styrène butadiène, par une coloration violet clair. On peut ne pas obtenir de résultat si les doubles liaisons du caoutchouc ont diminué sous l'effet de l'oxydation. Par ailleurs le résultat ne sera pas visible si le caoutchouc est chargé de noir de carbone.

PYROLYSE ET REACTIFS : On verse 4 gouttes d'acide nitrique fumant sur l'échantillon du matériau étudié. On fait ensuite évaporer à sec l'acide sans décomposer le polymère. On chauffe le résidu une minute environ et on met en contact la fumée avec un papier filtre préalablement imbibé d'une solution spéciale (une solution étherée concentrée de 2,6 dibromoquinone – 4 -chlorimide). Lorsque le papier vire au bleu quand on le mouille avec un peu d'acide nitrique libre, la présence de polystyrène est avérée

TEST BURCHFIELD ET OSTROMOW : Couleur de la solution I: jaune, de la solution II : bleu; Comportement du résidu de la pyrolyse I : coule, II : coule. Couleur avec le réactif III : vert; couleur du résidu : jaune-vert. Ces tests doivent être recoupés par d'autres types de tests, car les charges, la température de pyrolyse, le vieillissement de l'élastomère... ont un impact sur le résultat.

TEST DE SOLUBILITE : solvants : benzène, solvants halogénés, solvants aromatiques; non solvants: alcools, esters, cétones, essence

INDICE D'IODE : copolymère styrène-butadiène (66/34) : 140 environ; copolymère styrène-butadiène (36/64) : 290 environ; copolymère styrène-butadiène (21/79) : 340-360

NITRILE BUTADIENE (NBR)  
ou CAOUTCHOUC NITRILE  
ou COPOLYMERE ACRYLONITRILE BUTADIENE

---

**Photographies :**



*Gant (matériel de laboratoire)*



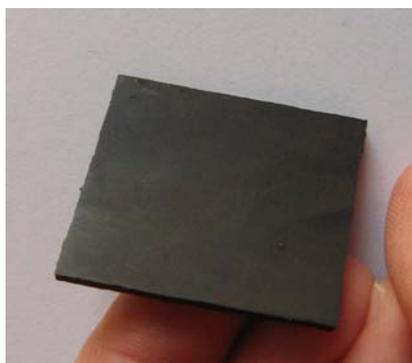
*Joints toriques (robinetterie)*



*Mousse nitrile et textile*



*NBR alimentaire*

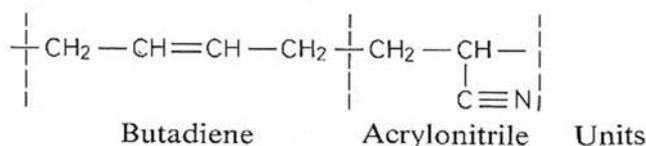


*NBR noir*



*NBR/SBR*

### Formule chimique et composition :



Plus la part d'acrylonitrile sera importante dans la composition du NBR, plus la résistance aux huiles et essences le sera également, mais l'élasticité et la flexibilité à basse température se dégraderont.

### Historique/Fabrication :

La première copolymérisation de l'acrylonitrile et du butadiène fut réalisée en 1930 par E. Konrad et T. Tschunkur.

Commercialisé à partir des années 1940.

### Applications :

Le caoutchouc nitrile est généralement employé lorsqu'on recherche une excellente résistance aux hydrocarbures et de bonnes propriétés mécaniques.

- Construction automobile et aéronautique : pièces destinées à subir un contact permanent ou accidentel avec les carburants, huiles ou graisses, citons les joints toriques d'étanchéité, les durites, les joints en liège aggloméré.
- Manutention et transport d'hydrocarbures : tuyaux souples destinés au chargement et au déchargement des tankers, réservoirs souples, joints de vannes de tuyauteries, tuyaux résistant à la chaleur, au froid, à l'essence, à la graisse et à l'huile
- Rouleaux et revêtements de cylindres : dans l'industrie textile, du papier et de l'imprimerie
- Semelles de chaussures de sécurité
- Adhésifs : pour collage de caoutchouc, collage de polychlorure de vinyle plastifié sur divers supports (la présence des groupes polaires du caoutchouc nitrile lui confère une excellente compatibilité avec certaines matières plastiques comme le polychlorure de vinyle)
- Produits dans le domaine alimentaire et pharmaceutique

### Marques/Producteurs :

- |                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| • Breon N / BP (GB)                  | JSR-N / Japan Synthetic Rubber (Japon) |
| • Buna N / VEB Buna (Allemagne)      | Krynac / Polysar (Suisse)              |
| • Butacril / Ugine Kuhlmann (France) | Nipol N / Nippon Zeon (Japon)          |
| • Chemigum / Goodyear (France)       | NYsyn / Copolymer (USA)                |
| • Elaprim/ Enichem (Suisse)          | Paracril / Uniroyal (GB)               |
| • Europrene N / Enichem (Suisse)     | Perbunan N / Bayer (Allemagne)         |
| • Hycar / BFGoodrich (Pays-Bas)      | SIR / Sir (Italie)                     |
| • Humex N / Hules Mexicanos (All.)   | Nytek / Dickinson & Co (USA)           |

**Caractéristiques/Propriétés :**

Il peut être mélangé avec une faible quantité de NR ou de BR

Il peut être mélangé avec le SBR, souvent pour des raisons économiques (pour des applications ne nécessitant pas une résistance aux solvants particulière)

**Chimiques :**

Polaire

Gonfle au contact des solvants polaires, des esters, des cétones, des hydrocarbures, des glycols et des acides gras.

Bonne résistance aux carburants, huiles végétales (contrairement au NR et SBR) et animales, à l'eau, aux alcools.

**Physiques et mécaniques :**

Excellentes propriétés mécaniques lorsqu'il est employé avec des charges renforçantes (résistance à l'abrasion supérieure à celle du NR)

Élasticité moindre que le NR ou le SBR

Allongement à la rupture : 400 – 600%

Résistance à la traction: non chargé: 7 N/mm<sup>2</sup>; chargé de noir de carbone: 20 N/mm<sup>2</sup>

Dureté Shore A : 40-95

**Résistance à la chaleur, à l'ozone et aux agents atmosphériques :**

Faible résistance à l'ozone et aux agents atmosphériques. Pour améliorer sa résistance à l'ozone, on peut le mélanger à l'EPDM, l'ETER ou au BIIR (IIR halogéné)

Meilleure résistance à la chaleur que le NR ou le SBR (Plage de températures utiles : -50 à 150°C)

Peu de propriétés utiles à basse température

**Électriques :**

Haute conductivité électrique en raison de sa polarité

**Caractéristiques olfactives, tactiles, visuelles :****Vieillessement/Altérations :**

OXYDATION : la réticulation prédomine sous l'effet de l'oxydation pour ce type de caoutchouc.

OZONOLYSE : craquelures profondes, orientées et effritements

**Tests micro-chimiques :**

DENSITE : 0,98 – 1,0 g/ml

TEST WEBER : test réalisé à l'aide de réactifs et indiquant la présence du copolymère acrylonitrile-butadiène par une absence de coloration. Le résultat ne sera pas visible si le caoutchouc est chargé

de noir de carbone.

**PYROLYSE ET REACTIFS** : Pour identifier le caoutchouc nitrile on utilise un papier filtre imbibé d'une solution de 2 g d'acétate de cuivre (II) et de 0,25 g de jaune de méthanil dans 500 ml de méthanol. Juste avant le test, on imbibe le papier filtre d'une solution de 2,5 g de dihydrochlorure de benzène dans du méthanol dilué à 50% + 10 ml d'une solution d'hydroquinone à 0,1%. On met ensuite en contact un fil de platine chauffé à la surface du matériau testé et l'on place ensuite le papier filtre en contact avec la surface durant 5 min. Le papier devient gris-vert à bleu.

Autre test : les vapeurs de pyrolyse entraînent une coloration brune d'un papier filtre imbibé préalablement d'une solution d'oxyde de mercure jaune dans de l'acide sulfurique.

**TEST BURCHFIELD ET OSTROMOW** : Couleur de la solution I: vert, de la solution II: bleu; Comportement du résidu de la pyrolyse I: coule, II: coule. Couleur avec le réactif III: lie de vin; couleur du résidu: orange-rouge. Ces tests doivent être recoupés par d'autres types de tests, car les charges, la température de pyrolyse, le vieillissement de l'élastomère... ont un impact sur le résultat.

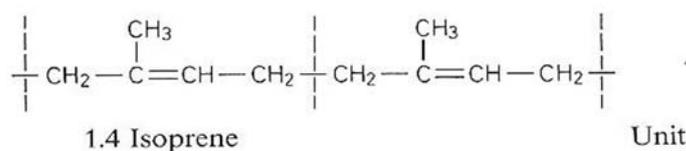
**TEST DE SOLUBILITE** : solvants: chlorure de méthylène, solvants halogénés; non solvants: alcools, eau, essence

## POLYISOPRENE SYNTHETIQUE (IR) ou CAOUTCHOUC POLYISOPRENE

**Photographies :**

### **Formule chimique et composition :**

On distingue deux types d'IR suivant les catalyseurs employés: Ti-IR (titane) et Li-IR (lithium). La composition du Ti-IR peut être comparée à celle du NR et celle du Li-IR à celle du SBR.



### **Historique/Fabrication :**

Réplique presque parfaite du polyisoprène naturel. En 1954, Goodrich parvient à réaliser la synthèse du cis-1,4- polyisoprène (IR), appelé également le « caoutchouc naturel synthétique », en utilisant la catalyse Ziegler-Natta.

Mis au point en 1962 par Shell et Goodyear (États-Unis).

### **Applications :**

En général, l'IR et plus particulièrement le Ti-IR, est utilisé dans les mêmes applications que le NR. Le Li-IR peut remplacer le NR dans quelques cas exceptionnels, et il est préférable de l'utiliser dans des mélanges avec d'autres caoutchoucs, comme le BR ou le SBR, pour améliorer leur mise en œuvre.

- pneumatique
- objets mécaniques
- semelles de chaussure
- articles de sport
- jouets
- tétines
- produits dans le domaine alimentaire et pharmaceutique

### **Marques/Producteurs :**

- |                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| • Afprene IR / <i>Carbochem (USA)</i> | <i>Europrene SOL / Enichem (Suisse)</i> |
| • Cariflex IR / <i>Shell (GB)</i>     | <i>Natsyn / Goodyear (France)</i>       |
| • Carom / <i>Danubiana (Roumanie)</i> | <i>Nipol / Nippon Zeon (Japon)</i>      |

**Caractéristiques/Propriétés :**

Les propriétés du Ti-IR sont comparables à celles du NR et la valeur de ses principales propriétés atteint celle du NR (la résistance à la traction est légèrement inférieure)

Les propriétés du Li-IR sont comparables à celles du BR et du SBR.

La différence majeure entre le NR et l'IR est que ce dernier n'a pas d'odeur (il peut donc être employé dans le domaine alimentaire)

**Physiques et mécaniques :**

Résistance à la traction: non chargé : 20 N/mm<sup>2</sup>; chargé de noir de carbone: 22 N/mm<sup>2</sup>

**Résistance à la chaleur, à l'ozone et aux agents atmosphériques :**

Températures d'utilisation : -55°C à 100°C

**Caractéristiques olfactives, tactiles, visuelles:**

L'IR n'a pas d'odeur.

**Vieillessement/Altérations:**

OXYDATION : au début du processus d'oxydation, l'IR aura tendance à se ramollir, puis finalement deviendra rigide.

OZONOLYSE : craquelures profondes, orientées et effritements

**Tests micro-chimiques:**

TEST WEBER : test réalisé à l'aide de réactifs et indiquant la présence de polyisoprène naturel ou synthétique, par une couleur passant du rose au violet. On peut ne pas obtenir de résultat si les doubles liaisons du caoutchouc ont diminué sous l'effet de l'oxydation. Par ailleurs le résultat ne sera pas visible si le caoutchouc est chargé de noir de carbone.

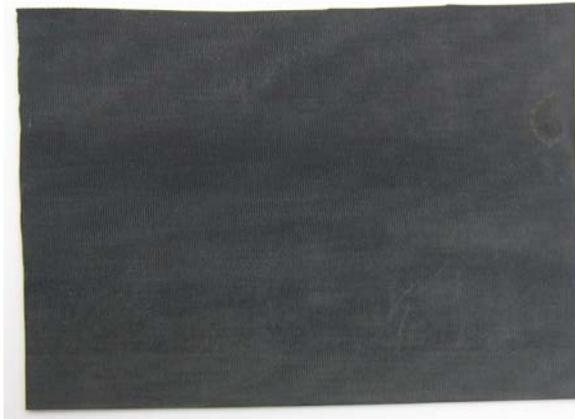
PYROLYSE : s'enflamme facilement. Continue à brûler après le retrait de la flamme. La flamme est noire et jaune. La partie brûlée est ramollie et collante après refroidissement. Odeur très caractéristique de caoutchouc brûlé.

TEST BURCHFIELD ET OSTROMOW : Couleur avec le réactif III : vert; couleur du résidu : rouge-brun. Ces tests doivent être recoupés par d'autres types de tests, car les charges, la température de pyrolyse, le vieillissement de l'élastomère... ont un impact sur le résultat.

TEST DE SOLUBILITE : solvants : benzène; non solvants : alcools, esters, cétones, essence

## CAOUTCHOUC ISOPRENE ISOBUTYLENE (IIR) ou CAOUTCHOUC BUTYLE

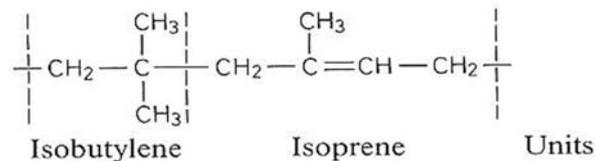
### Photographies :



*Butyle haute définition*

### Formule chimique et composition :

copolymère composé de 97 à 99,5 % d'isobutylène et 0,5 à 3 % d'isoprène qui produisent des doubles liaisons requises pour le vulcanisation au soufre.



### Historique/Fabrication :

Le caoutchouc butyle est mis au point par Standard Oil dans les années 1930 (Ils se sont basés sur le processus mis au point en 1931 par BASF pour fabriquer du polyisobutylène) et produit à partir de 1943.

### Applications :

- chambres à air pour pneumatiques, articles gonflables divers, gilets de sauvetage, tuyaux à gaz (propane, butane), tissus enduits
- articles exposés aux intempéries et au soleil
- matériau isolant pour câbles
- articles résistant à la chaleur (courroies, tuyaux, joints, durites)
- articles résistant aux agents chimiques et aux matières grasses (tuyaux)
- bouchons pharmaceutiques

- A l'état non vulcanisé, le caoutchouc butyle est utilisé pour la fabrication de colles et d'adhésifs, de mastics spéciaux, et pour la plastification de cires ou du polyéthylène.

Il est aujourd'hui concurrencé par l'EPDM.

**Marques/Producteurs :**

- Esso Butyl / Exxon (Belgique)
- Polysar Butyl / Polysar (Suisse)
- Soca Butyl / Japan Butyl (Japon)
- Kalar / Hardman Inc.

**Caractéristiques/Propriétés :**

La limitation pour les usages généraux du caoutchouc butyle provient des difficultés de mélange avec d'autres élastomères dues aux différences importantes dans la réaction de vulcanisation.

**Chimiques :**

Non polaire

Bonne résistance aux acides minéraux dilués, aux alcalis, à l'acétone, l'éthylène, l'éthylène glycol, l'eau, aux huiles végétales et animales.

Mauvaise tenue aux huiles minérales, à l'éther de pétrole et à la plupart des solvants.

**Physiques et mécaniques**

Caoutchouc amortissant

Avec des charges renforçantes, une haute résistance à la traction peut être obtenue, similaire à celle des SBR et NBR.

Résistance à la traction: non chargé: 14 N/mm<sup>2</sup>; chargé de noir de carbone: 16 N/mm<sup>2</sup>

Dureté Shore A : 15-90

**Résistance à la chaleur, à l'ozone et aux agents atmosphériques :**

Le faible pourcentage d'isoprène qui rend possible la vulcanisation permet d'avoir un produit pratiquement saturé qui est de faible perméabilité aux gaz et peu sensible aux causes extérieures de détérioration : chaleur, lumière, oxygène, ozone, acides. Mais attention, il existe plusieurs variétés présentant une plus ou moins bonne résistance au vieillissement.

L'un des plus imperméables (imperméabilité 10 x supérieure à celle du NR).

Températures d'utilisation: -55°C à 150°C

**Électriques :**

Bon isolant

**Caractéristiques olfactives, tactiles, visuelles :**

**Vieillessement/Altérations :**

OXYDATION : au début du processus d'oxydation, l'IIR aura tendance à se ramollir, puis finalement deviendra rigide.

OZONOLYSE : craquelures profondes, orientées et effritements

UV : craquelures et décoloration en surface

**Tests micro-chimiques :**

DENSITE : 0,9 g/ml

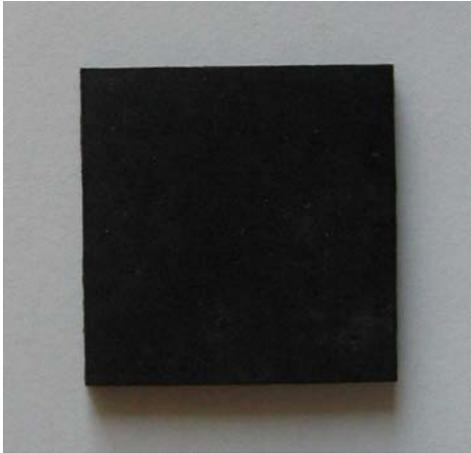
PYROLYSE : continue à brûler lors du retrait de la flamme. L'échantillon brûlé est ramolli. La flamme est

TEST BURCHFIELD ET OSTROMOW : Couleur de la solution I : jaune, de la solution II : bleu; Comportement du résidu de la pyrolyse I : flotte, II : flotte. Couleur avec le réactif III: bleu-violet; couleur du résidu : jaune. Ces tests doivent être recoupés par d'autres types de tests, car les charges, la température de pyrolyse, le vieillissement de l'élastomère... ont un impact sur le résultat.

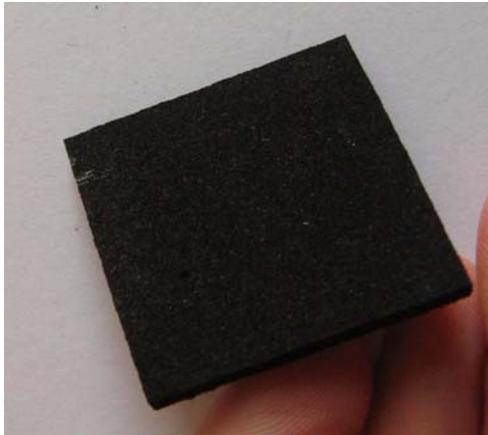
INDICE D'IODE : inférieur à 5

## POLYCHLOROPRENE (CR)

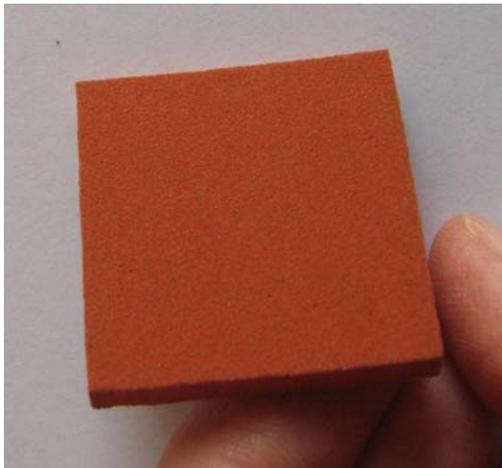
### Photographies :



*Feuille de polychloroprène 65 shore*



*Mousse néoprène*



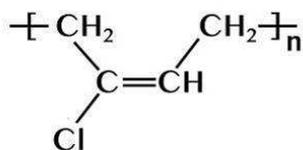
*Mousse néoprène rouge*



*Mousse néoprène grise*

### Formule chimique et composition :

Le polychloroprène ou polychloro-2-butadiène1,3 :



L'ajout de l'atome de chlore diminue la sensibilité aux agent extérieurs de la double liaison

**Historique/Fabrication :**

Inventé par Wallace Carothers en 1930, il est commercialisé par Du Pont de Nemours au début des années 1930 aux Etats-Unis, sous la marque Duprène® comme un caoutchouc résistant à l'huile. Le premier CR employé largement à partir de 1939 est le Néoprène® (GN). Il était désigné sous le nom de Svoprène® en Russie.

Suivant son mode de production, on distingue les CR modifiés par le soufre et ceux modifiés par le mercaptan. Par ailleurs, on distingue trois catégories : basse, moyenne ou haute cristallisabilité. Cette dernière est spécialement employée pour les adhésifs.

Les CR polymérisés à basse température présentent un fort taux de cristallisation, ce qui est important pour obtenir des adhésifs à collage rapide. Ces catégories de CR sont cependant peu adaptées à la production de produits en caoutchouc, car ils durcissent rapidement et perdent rapidement leur élasticité.

**Applications :**

Les CR permettent de réaliser de nombreux caoutchoucs techniques, résistants aux flammes, aux huiles et graisses, à l'ozone et aux intempéries. Ils possèdent de nombreuses applications dans l'industrie de la construction. Ils peuvent être moulés, extrudés, scellés, fabriqués sous forme de tuyaux, courroies, profilés. L'utilisation du CR a souffert en raison de la forte compétition face à l'EPDM.

- combinaison de plongée
- fils et câbles
- profilés (automobile, bâtiment)
- revêtements intérieurs de réservoir chimique
- courroies
- tuyaux souples résistant à l'essence, au froid, à la chaleur, aux graisses et huiles, aux solvants
- garnitures et joints d'étanchéité
- tissus caoutchoutés (vêtements de protection, bâches, matelas, embarcations pneumatiques)
- adhésifs (employés dans les industries du bâtiment, de la chaussure, du meuble et de l'automobile)

**Marques/Producteurs :**

- Bayprene / *Bayer (Allemagne)*
- Butaclor / *Distugil (France)*
- Denka / *Denka Kagaku (Japon)*
- Neoprene / *Du Pont (USA)*
- Perbunan C / *Bayer (Allemagne)*
- Skyprene / *Toya Soda (Japon)*
- Nairit / *USSR*

## **Caractéristiques/Propriétés :**

### **Chimiques :**

C'est un caoutchouc polaire

Bonne résistance aux huiles paraffiniques et naphthéniques de haut poids moléculaire mais gonfle de manière importante au contact des huiles aromatiques de faible poids moléculaire.

Les esters, les cétones, les aldéhydes et les hydrocarbures chlorés et aromatiques gonflent et ramollissent les CR.

Certaines formulations de CR peuvent présenter une résistance exceptionnelle à l'absorption de l'eau.

En mélange avec le NBR cela améliore la résistance au gonflement au contact des huiles.

### **Physiques et mécaniques :**

Excellentes propriétés adhésives

Tendance à la cristallisation. Cette propriété est indésirable dans la production de certains caoutchoucs techniques (conséquence : dureté excessive de certains composants). Le CR présente notamment un raidissement au froid causé par ce processus de cristallisation. Cependant, ce processus est un bien pour les adhésifs. En solution, aucune cristallisation n'a lieu, mais après évaporation du solvant, le film adhésif se durcit rapidement en raison de la cristallisation, apportant une bonne adhésion des surfaces et une bonne liaison des deux surfaces par simple pression de celles-ci. Ces adhésifs sont dits « de contact ».

Très bonne résistance à la traction et à la déchirure: non chargé : 20 N/mm<sup>2</sup>; chargé de noir de carbone : 22 N/mm<sup>2</sup>

Dureté Shore A : 40-95

En mélange avec le BR cela diminue la température de rupture.

Le NR en mélange avec le CR, améliore son élasticité et sa flexibilité à basse température.

### **Résistance à la chaleur, à l'ozone et aux agents atmosphériques... :**

Résiste à la chaleur (Plage de température utiles : -50 à 105°C)

Excellente résistance à l'oxydation, à l'ozone, à la chaleur et aux intempéries. Il présente une meilleure résistance au vieillissement qu'un NR.

Excellente résistance au feu, auto-extinguible (grâce à la présence de chlore dans la formulation). Mais lorsque des polymères chlorés, comme les CR, brûlent, ils dégagent de grandes quantités de **fumées toxiques et corrosives, qui sont extrêmement dangereuses. !!!**

Concernant la perméabilité au gaz, le CR est nettement supérieur au NR ou au SBR, mais il n'atteint pas les basses perméabilités des CO, ECO, IIR et NBR.

## **Caractéristiques olfactives, tactiles, visuelles :**

Odeur spécifique aux tenues de plongée, matelas gonflables... Odeur similaire au CSM

## **Vieillessement/Altérations :**

OXYDATION : Tendance marquée à la cristallisation se manifestant par une rigidification du matériau. Il

crystallise notamment plus rapidement que le NR.

OZONOLYSE : craquelures profondes, orientées et effritements

UV : décoloration

MICRO-ORGANISMES : La présence de chlore dans l'élastomère le protège de l'attaque de microorganismes.

#### **Tests micro-chimiques:**

DENSITE: 1,25 g/ml

TEST DE BELSTEIN : permet d'identifier la présence de chlore

PYROLYSE : Un caoutchouc chloré est difficile à enflammer et s'arrête de brûler lors du retrait de la flamme. La flamme est verte. L'échantillon brûlé se décompose. La partie brûlée du polychloroprène est craquelée et calcinée. Une odeur d'acide hydrochloré se dégage. **Attention les fumées sont toxiques!!!**

On peut utiliser un papier pH lors de la pyrolyse afin de confirmer un pH acide provoqué par la présence de chlore. L'ajout de 6 gouttes d'eau sur l'échantillon étudié et de 2 gouttes de nitrate d'argent, provoquera un précipité blanc indiquant la présence possible de chlore. Le résultat est confirmé par l'ajout de quelques gouttes de solution d'ammoniaque qui dissolvent le précipité.

PYROLYSE ET REACTIFS : Pour identifier le caoutchouc chloré on utilise un papier filtre imbibé d'une solution de 2 g d'acétate de cuivre (II) et de 0,25 g de jaune de Metanil dans 500 ml de méthanol . Juste avant le test, on imbibe le papier filtre d'une solution de 2,5 g de dihydrochlorure de benzène dans du méthanol dilué à 50% + 10 ml d'un solution d'hydroquinone à 0,1%. On met ensuite en contact un fil de platine chauffé à la surface du matériau testé et l'on place ensuite le papier filtre en contact avec la surface durant 5 mn. Le papier devient rouge en présence de caoutchouc chloré. Mais il n'est pas possible d'identifier un caoutchouc chloré à moins de 30% dans un mélange, avec cette méthode.

TEST BURCHFIELD ET OSTROMOW : Couleur avec le réactif III: vert sale; couleur du résidu: jaune-vert. Ces tests doivent être recoupés par d'autres types de tests, car les charges, la température de pyrolyse, le vieillissement de l'élastomère... ont un impact sur le résultat.

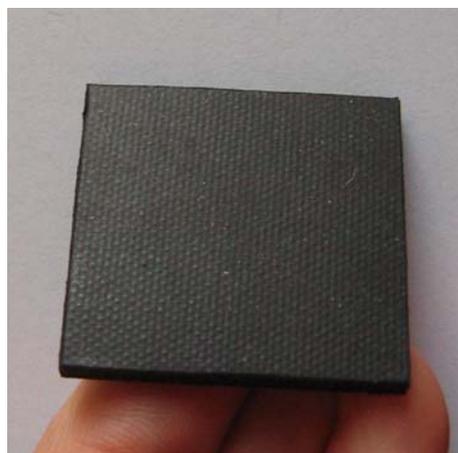
TEST DE SOLUBILITE : solvants: solvants halogénés, toluène, cyclohexanone, pyridine; non solvants: alcools, esters

**ETHYLENE PROPYLENE DIENE POLYMETHYLENE (EPDM)  
et ETHYLENE PROPYLENE (EPM ou EPR pour Ethylene Propylene Rubber)**

**Photographies :**



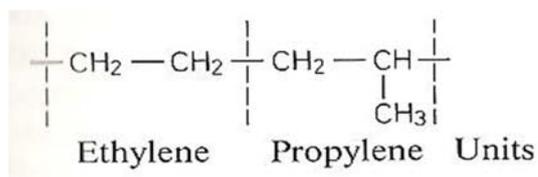
*Clapets pleins (robinetterie)*



*Feuille d'EPDM 30 shore*

**Formule chimique et composition :**

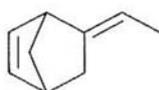
EPDM : E : éthylène, P : propylène, D : diène (requis pour la vulcanisation en faible pourcentage) et M : méthylène (formant le squelette hydrocarboné du copolymère). Si le copolymère ne contient pas de diène il peut être désigné par EPM.



La littérature cite de nombreux composants termonomères, mais dans les caoutchoucs commercialisés, seulement trois diènes sont utilisés : dicyclopentadiène, éthylidène norbornène, trans-1,4 hexadiène.



Dicyclopentadiene  
(DCP)



Ethylidene Norbornene  
(ENB)



Trans-1,4 Hexadiene  
(HX)

L'élastomère est complètement saturé ce qui explique son extrême résistance à l'ozone, à l'oxygène et à l'action des agents atmosphériques.

**Historique/Fabrication :**

Inventé et fabriqué en 1963 par Du Pont (Etats-Unis) et Montecatini (Italie).

L'EPDM est obtenu par copolymérisation de l'éthylène et du propylène avec certains catalyseurs de type Ziegler-Natta. Les EPDM sont amorphes et caoutchouteux, mais ils ne contiennent pas d'insaturation. Ils peuvent simplement être réticulés avec des peroxydes.

Si durant la copolymérisation de l'éthylène et du propylène, un troisième monomère, un diène, est ajouté, le caoutchouc que l'on obtiendra aura des insaturations, et pourra ensuite être vulcanisé avec du soufre. Ces caoutchoucs sont alors appelés des EPDM.

**Applications :**

Utilisés en extrusion.

Ces caoutchoucs sont employés dans la conception de produits qui doivent résister à la chaleur, aux intempéries et à l'eau de mer.

- construction automobile : joints de pare-brise, joints extérieurs de la carrosserie, tuyaux de circulation d'eau, résistant aux solvants, à la chaleur et au froid... Les applications dans le domaine pneumatique sont très limitées.
- bâtiment et travaux publics : tous les joints d'étanchéité
- industrie des tuyaux : vapeur, air comprimé, tuyaux d'arrosage
- appareillage électrique : isolement des câbles électriques (gaine de protection ou bourrage)
- équipement électroménager : pièces de machines à laver par exemple
- produits dans le domaine alimentaire et pharmaceutique

**Marques/Producteurs :**

- |   |  |
|---|--|
| • Buna AP / <i>Bunawerke Hüls (Allemagne)</i> | • Keltan / <i>DSM (Pays-Bas)</i>         |
| • Dutral / <i>Montedison (Italie)</i>         | • Nordel / <i>Du Pont (USA)</i>          |
| • Epcar / <i>BFGoodrich (Pays-Bas)</i>        | • Polysar EPDM / <i>Polysar (Suisse)</i> |
| • EPsyn / <i>Copolymer (USA)</i>              | • Royalene / <i>Uniroyal (GB)</i>        |
| • Eptotal / <i>Socabu (France)</i>            | • Trilene / <i>Uniroyal (GB)</i>         |
| • Esprene / <i>Sumitomo (Japon)</i>           | • Vistalon / <i>Exxon (Belgique)</i>     |
| • Intolan / <i>Enichem (Suisse)</i>           |  |

**Caractéristiques/Propriétés :****Chimiques :**

Bonne tenue aux alcools, cétones

Les acides inorganiques les attaquent ou les détruisent.

Mauvaise tenue aux huiles et aux hydrocarbures aliphatiques et aromatiques

Résistance exceptionnelle à l'eau chaude et à la vapeur à haute pression

**Physiques et mécaniques :**

Propriétés mécaniques variables suivant le type et la quantité de charge employée (pouvant atteindre le niveau du NR).

Bonne résistance à la compression et à l'abrasion

Propriétés élastiques souvent bien supérieures à celles d'autres caoutchoucs synthétiques vulcanisés, et particulièrement l'IIR, mais elles n'atteignent pas le niveau du NR vulcanisé.

Les propriétés dynamiques et la résistance à la fatigue dynamique des EPDM sont aussi très bonnes et comparables à celles du SBR.

Résistance à la traction, non chargé : 7 N/mm<sup>2</sup>; chargé de noir de carbone : 18 N/mm<sup>2</sup>  
Large catégorie de dureté disponible. Dureté Shore A : 30-90

**Résistance à la chaleur, à l'ozone et aux agents atmosphériques :**

Un des plus résistants au vieillissement (La double liaison du diène ne se trouve pas dans la chaîne principale complètement saturée. Les agents d'oxydation n'agissent donc pas sur la chaîne principale.) : excellente résistance à l'oxygène et à l'ozone. Sous des conditions d'utilisation normales, une dégradation par oxydation de ces caoutchoucs n'a pas lieu.

Résiste mal à la combustion mais bien à la chaleur (jusqu'à 100°C), mieux que les SBR et NBR, de manière similaire à l'IIR vulcanisé au soufre, mais moins bien que le Q et l'EVM

Il est possible d'améliorer la résistance à l'ozone des autres caoutchoucs diéniques, comme le NR, l'IIR, BR, SBR, ou NBR grâce à leur mélange avec l'EPDM dans des concentrations de 30% du poids environ.

**Électriques :**

Excellent isolant électrique

**Caractéristiques olfactives, tactiles, visuelles :**

Odeur plutôt acide

**Vieillessement/Altérations:**

OXYDATION : la réticulation prédomine sous l'effet de l'oxydation pour ce type de caoutchouc

**Tests micro-chimiques :**



**Marques/Producteurs :**

- Escorene Ultra / Exxon (Belgique)
- Evatane / Atochem (France)
- Levaprene / Bayer (Allemagne)
- Orevac / Atochem (France)
- Ultrathene / USI Chemicals (USA)
- Vynathene / USI Chemicals (USA)

**Caractéristiques/Propriétés :****Physiques et mécaniques :**

Avec des charges renforçantes, une haute résistance à la traction peut être obtenue.

La résistance à l'abrasion n'est pas comparable à celle des caoutchoucs diéniques.

L'élasticité est souvent obscurcie par un effet de raidissement dû au caractère thermoplastique du copolymère.

Déformation rémanente faible à température ambiante

**Résistance à la chaleur, à l'ozone et aux agents atmosphériques :**

La supériorité technique principale est son excellente résistance à la dégradation à l'air chaud. Le vieillissement à la chaleur dans un système clos, comme des câbles spéciaux, peut être supérieur au Q.

La résistance à l'ozone des NR et SBR peut être améliorée en les mélangeant avec l'EVM.

**Électriques :**

Résistance électrique faible (car les EVM sont polaires)

**Caractéristiques olfactives, tactiles, visuelles:****Vieillessement/Altérations :**

OXYDATION : peu sensible à l'oxydation

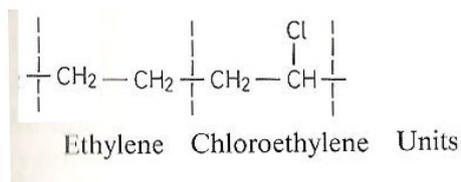
**Tests micro-chimiques :**

PYROLYSE: dégage de l'acide acétique (odeur de vinaigre)

## CAOUTCHOUC DE POLYETHYLENE CHLORE (CM)

### Photographies:

### Formule chimique et composition :



### Historique/Fabrication :

Une cristallinité du polyéthylène résultant de la chloruration se produit. Ainsi les polymères deviennent caoutchouteux, et peuvent être réticulés par des peroxydes ou autres produits chimiques.

La cristallinité du polymère dépend de l'étendue de la chloruration.

A des concentrations élevées de chlore, les polymères deviennent assez rigides et plus cassants (à environ 45% en poids de chlore), parce que les interactions sont fortes entre carbone et chlore.

### Applications:

Il est particulièrement recommandé pour les utilisations nécessitant une haute résistance au vieillissement dans l'air chaud, les huiles, les solvants et une bonne résistance à l'ozone et aux intempéries, combiné avec une bonne résistance à la flamme. Ses principales utilisations interviennent dans le domaine des câbles et fils électriques industriels, mais ces applications sont menacées par le développement des polymères sans chlore.

### Marques/Producteurs :

- Bayer CM / Bayer (Allemagne)
- Elasen / Showa Denko (Japon)
- Daisolac / Osaka Soda (Japon)
- Dow CPE / Dow Corning (GB)
- Hostapren / Hoechst (Allemagne)
- Kelrinal / DSM (Pays-Bas)

### **Caractéristiques/Propriétés :**

#### **Chimiques :**

Le CM est polaire en raison du chlore. Cela améliore donc sa résistance au gonflement lorsqu'il est en contact avec les huiles végétales, animales et minérales

Le CM est employé en mélange avec le NBR pour améliorer la résistance au gonflement en contacts avec les huiles et carburants.

#### **Physiques et mécaniques :**

Bonnes propriétés mécaniques

Faible déformation rémanente après compression (sup. 150°C)

Température de rupture basse

Très bonne fatigue dynamique

Résistance à la traction: non chargé : 10 N/mm<sup>2</sup>

Le CM est employé en mélange avec l'EPDM pour améliorer la flexibilité à basse température

#### **Résistance à la chaleur, à l'ozone et aux agents atmosphériques... :**

Excellente résistance au vieillissement, aux intempéries et à l'ozone

Bonne résistance à la flamme (augmenter les concentrations en chlore améliore cette caractéristique). Le CM possède la même résistance à la flamme que l'EVM et le CR.

### **Caractéristiques olfactives, tactiles, visuelles :**

#### **Vieillessement/Altérations :**

OXYDATION : peu sensible à l'oxydation

MICRO-ORGANISMES : La présence de chlore dans l'élastomère le protège de l'attaque de microorganismes.

#### **Tests micro-chimiques:**

DENSITE: 1,59 – 1,69 g/ml

PYROLYSE : Un caoutchouc chloré est difficile à enflammer et s'arrête de brûler lors du retrait de la flamme. La flamme est verte. L'échantillon brûlé se décompose. Une odeur d'acide hydrochloré se dégage.  
**Attention les fumées sont toxiques!!!**

On peut utiliser un papier pH lors de la pyrolyse afin de confirmer un pH acide provoqué par la présence de chlore. L'ajout de 6 gouttes d'eau sur l'échantillon étudié et de 2 gouttes de nitrate d'argent, provoquera un précipité blanc indiquant la présence possible de chlore. Le résultat est confirmé par l'ajout de quelques gouttes de solution d'ammoniaque qui dissolvent le précipité.

**PYROLYSE ET REACTIFS :** Pour identifier le caoutchouc chloré on utilise un papier filtre imbibé d'une solution de 2 g d'acétate de cuivre (II) et de 0,25 g de jaune de Metanil dans 500 ml de méthanol . Immédiatement avant le test, on imbibe le papier filtre d'une solution de 2,5 g de dihydrochlorure de benzène dans du méthanol dilué à 50% + 10 ml d'un solution d'hydroquinone à 0,1%. On met ensuite en contact un fil de platine chauffé à la surface du matériau testé et l'on place le papier filtre en contact avec la surface durant 5 min. Le papier devient rouge en présence de caoutchouc chloré. Mais il n'est pas possible d'identifier un caoutchouc chloré à moins de 30% dans un mélange, avec cette méthode.

**TEST DE BELSTEIN :** permet d'identifier la présence de chlore



**Marques/Producteurs :**

- Hypalon / Du Pont (USA)
- CS PE / China

**Caractéristiques/Propriétés :**

Sous de nombreux aspects, le CSM est proche du CM. Il présente cependant une meilleure résistance à la chaleur et à l'ozone, de meilleures propriétés électriques et une meilleure résistance chimique que ce dernier.

**Chimiques :**

Faible résistance aux hydrocarbures chlorés, aliphatiques et aromatiques, aux aldéhydes et cétones

Haute résistance aux huiles et essences, même à température élevée

Résistant aux alcools

**Physiques et mécaniques :**

Possède une résistance à l'abrasion supérieure à celle du NR

Résistance à la traction : 18N/mm<sup>2</sup>

Dureté Shore A : 60

**Résistance à la chaleur, à l'ozone et aux agents atmosphériques :**

En raison de la haute saturation de sa molécule, comme le CM, il est très résistant à l'action des agents atmosphériques, au vieillissement et à l'ozone

Bonne résistance à la chaleur (Températures d'utilisation : -40°C à 150°C)

Grande imperméabilité

**Caractéristiques olfactives, tactiles, visuelles :**

Odeur semblable à celle du CR

**Vieillessement/Altérations :**

OXYDATION : peu sensible à l'oxydation, mais il aura plutôt tendance à réticuler sous l'action de l'oxygène.

MICRO-ORGANISMES : La présence de chlore dans l'élastomère le protège de l'attaque de microorganismes.

**Tests micro-chimiques :**

PYROLYSE : Un caoutchouc chloré est difficile à enflammer et s'arrête de brûler lors du retrait de la flamme. La flamme est verte. L'échantillon brûlé se décompose. Une odeur d'acide hydrochloré se dégage. **Attention les fumées sont toxiques!!!** Le liquide du résidu de pyrolyse est brun.

On peut utiliser un papier pH lors de la pyrolyse afin de confirmer un pH acide provoqué par la présence de chlore. L'ajout de 6 gouttes d'eau sur l'échantillon étudié et de 2 gouttes de nitrate d'argent, provoquera un précipité blanc indiquant la présence possible de chlore. Le résultat est confirmé par l'ajout de quelques gouttes de solution d'ammoniaque qui dissolvent le précipité.

**PYROLYSE ET REACTIFS :** Pour identifier le caoutchouc chloré on utilise un papier filtre imbibé d'une solution de 2 g d'acétate de cuivre (II) et de 0,25 g de jaune de Metanil dans 500 ml de méthanol . Juste avant le test, on imbibe le papier filtre d'une solution de 2,5 g de dihydrochlorure de benzène dans du méthanol dilué à 50% + 10 ml d'un solution d'hydroquinone à 0,1%. On met ensuite en contact un fil de platine chauffé à la surface du matériau testé et l'on place le papier filtre en contact avec la surface durant 5 mn. Le papier devient rouge en présence de caoutchouc chloré. Mais il n'est pas possible d'identifier un caoutchouc chloré à moins de 30% dans un mélange, avec cette méthode.

**TEST DE BELSTEIN :** permet d'identifier la présence de chlore

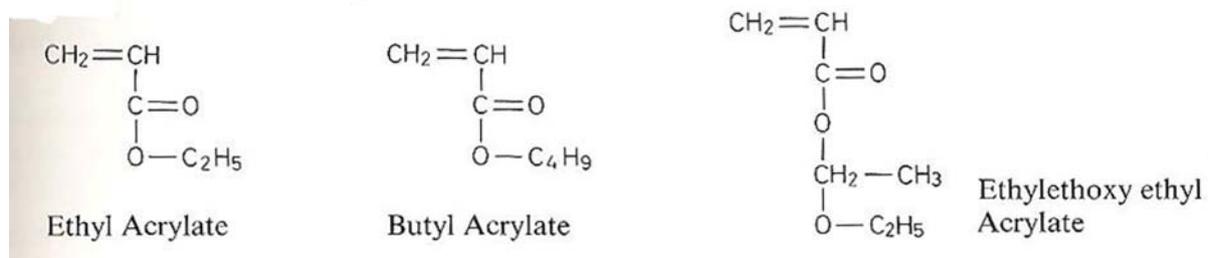
## CAOUTCHOUCS ACRYLIQUES (ACM)

### Photographies :

### Formules chimiques et composition :

Grâce à la polymérisation des esters acryliques avec des monomères, qui permet des réactions de réticulation importantes, on obtient des polymères amorphes et saturés qui sont très polaires. Ces polymères possèdent donc une excellente résistance aux huiles, au vieillissement, à la chaleur et à l'ozone, et ainsi l'ACM occupe une place intermédiaire entre le NBR et le FKM. Ces esters acryliques sont l'acrylate d'éthyle, l'acrylate de butyle ou d'octyle, ainsi que l'acrylate d'éthylméthoxy ou d'éthoxy.

Le choix de l'acrylate détermine la température de rupture, mais également la résistance à la chaleur et au gonflement des ACM vulcanisés.



### Historique/Fabrication :

L'ACM fut développé par Goodrich aux USA et fut produit en grande quantité à partir de 1948.

Il est rarement mélangé avec les autres caoutchoucs.

### Applications :

Un peu plus de 90% des ACM sont employés dans les produits automobiles et d'ingénierie. L'application principale se fait dans les joints des constructions, les valves, les transmissions automatiques et différentielles, les tuyaux souples pour l'huile, les joints toriques...

### Marques/Producteurs :

- |                                    |                                       |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| • Acralen / Bayer (Allemagne)      | <i>Hyear / BFGoodrich (Suisse)</i>    |
| • Cyanacryl / Cyanamid (Pays-Bas)  | <i>HyTemp / BFGoodrich (Suisse)</i>   |
| • Elaprim AR / Montedison (Italie) | <i>Nipol AR / Nippon Zeon (Japon)</i> |
| • Europrene AR / Enichem (Suisse)  |                                       |

**Caractéristiques/Propriétés :****Chimiques :**

Les ACM sont plus résistants au gonflement au contact des huiles végétales, animales ou minérales, que tous les autres caoutchoucs évoqués précédemment.

Très bonne résistance aux hydrocarbures aliphatiques

Bonne résistance à l'eau et aux acides

Mauvaise tenue aux alcalis, aux hydrocarbures aromatiques, aux hydrocarbures halogénés et aux alcools.

**Physiques et mécaniques :**

Les propriétés de résistance à la rupture des ACM n'atteignent pas le niveau des NR ou NBR, mais elles sont suffisantes pour les nécessités usuelles

Résistance à la traction : non chargé : 2 N/mm<sup>2</sup>; chargé de noir de carbone : 15 N/mm<sup>2</sup>

Dureté Shore A : 45-90

**Résistance à la chaleur, à l'ozone et aux agents atmosphériques :**

Bonne résistance à la chaleur et à l'ozone

Températures d'utilisation : 25°C à 175°C

**Caractéristiques olfactives, tactiles, visuelles :****Vieillessement/Altérations :**

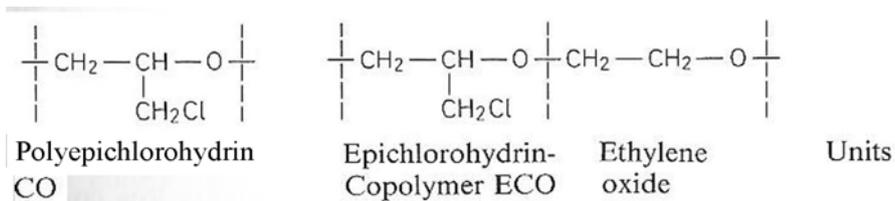
OXYDATION : peu sensible à l'oxydation, mais il aura plutôt tendance à réticuler sous l'action de l'oxygène

**Tests micro-chimiques :**

## CAOUTCHOUCS D'EPICHLOROHYDRINE (CO, ECO et ETER)

### Photographies :

### Formule chimique et composition :



CO : homopolymère amorphe, obtenu par polymérisation de l'épichlorohydrine. Extrêmement polaire, résistant au gonflement et haute Tg.

ECO : copolymère obtenu par copolymérisation de l'épichlorohydrine avec de l'oxyde d'éthylène.

ETER : terpolymérisation obtenue par l'introduction d'un monomère diène dans le copolymère ECO. L'ETER est réticulable à l'aide de soufre ou de peroxydes.

### Historique/Fabrication :

L'ETER est mis au point par Goodrich.

### Applications :

Malgré leur prix élevé, ils ont remplacé les NBR dans de nombreuses applications. La principale utilisation se fait dans l'industrie automobile, pour différents joints, diaphragmes, membranes, tuyaux, des composants amortissant, résistant à la chaleur... De plus, ils sont employés pour divers revêtements, divers moulages par injection, courroies. Dans le futur, leur utilisation en mélange avec le NBR, SBR et NR va croître.

### Marques/Producteurs :

- Epichlormer / Osaka Soda (Japon)
- Herclor / Hercules (USA)
- Hydrin / BF Goodrich (Pays-Bas)

### Caractéristiques/Propriétés :

Les polyépichlorohydrines possèdent une combinaison unique et inhabituelle de propriétés.

**Chimiques :**

La meilleure résistance au gonflement dans les huiles et essences, une haute résistance à la chaleur

Une moindre pénétration aux gaz et essence

**Physiques et mécaniques :**

Très bonnes propriétés d'amortissement

Faible température de flexibilité

Résistance à la traction : non chargé: 6 N/mm<sup>2</sup>; chargé de noir de carbone: 15 N/mm<sup>2</sup>

**Résistance à la chaleur, à l'ozone et aux agents atmosphériques :**

Une excellente résistance à l'ozone

Bonne résistance à la flamme

Températures d'utilisation : -40°C à 150°C

**Caractéristiques olfactives, tactiles, visuelles :****Vieillessement/Altérations :**

OXYDATION : peu sensible à l'oxydation

MICRO-ORGANISMES : La présence de chlore dans l'élastomère le protège de l'attaque de microorganismes.

**Tests micro-chimiques :**

PYROLYSE : Un caoutchouc chloré est difficile à enflammer et s'arrête de brûler lors du retrait de la flamme. La flamme est verte. L'échantillon brûlé se décompose. Une odeur d'acide hydrochloré se dégage. **Attention les fumées sont toxiques!!!** Le résidu de la pyrolyse est brun foncé.

On peut utiliser un papier pH lors de la pyrolyse afin de confirmer un pH acide provoqué par la présence de chlore. L'ajout de 6 gouttes d'eau sur l'échantillon étudié et de 2 gouttes de nitrate d'argent, provoquera un précipité blanc indiquant la présence possible de chlore. Le résultat est confirmé par l'ajout de quelques gouttes de solution d'ammoniaque qui dissolvent le précipité.

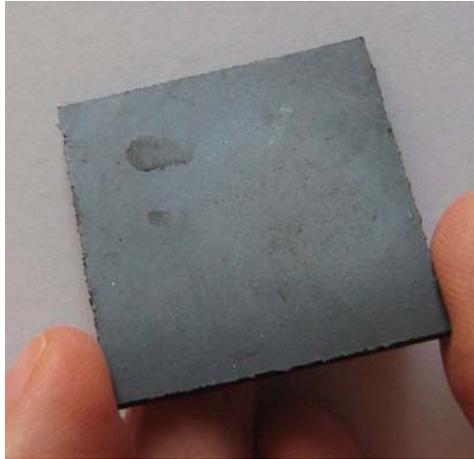
PYROLYSE ET REACTIFS : Pour identifier le caoutchouc chloré on utilise un papier filtre imbibé d'une solution de 2 g d'acétate de cuivre (II) et de 0,25 g de jaune de Metanil dans 500 ml de méthanol . Juste avant le test, on imbibe le papier filtre d'une solution de 2,5 g de dihydrochlorure de benzène dans du méthanol dilué à 50% + 10 ml d'un solution d'hydroquinone à 0,1%. On met ensuite en contact un fil de platine chauffé à la surface du matériau testé et l'on place le papier filtre en contact avec la surface durant 5 mn. Le papier devient rouge en présence de caoutchouc chloré. Mais il n'est pas possible d'identifier un caoutchouc chloré à moins de 30% dans un mélange, avec cette méthode.

TEST DE BELSTEIN : permet d'identifier la présence de chlore

## ELASTOMERES FLUORES (FKM, FPM, CFM)

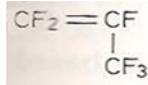
---

### Photographies :



Feuille fluoroélastomère de FKM Viton®

### Formules chimiques et composition :



Hexafluoro propylene (HFP)

### Historique/Fabrication :

Les premiers élastomères fluorés sont créés en 1956 et sont appelés les CFM. Ils seront ensuite remplacés par des élastomères hydrofluorés plus résistants à la chaleur, désignés comme FKM ou FPM.

### Applications :

Souvent, le FKM remplace le Q et le NBR. Il est cependant très onéreux.

- Tuyaux résistant à l'essence
- Joints résistant à la chaleur, aux huiles

### Marques/Producteurs :

- |                                  |                       |
|----------------------------------|-----------------------|
| • Fluorel / 3-M Corp (USA)       | Kel-F                 |
| • Kalrez / Du Pont (USA)         | Viton / Du Pont (USA) |
| • Technoflon / Ausimont (France) |                       |

**Caractéristiques/Propriétés :****Chimiques :**

Résiste au gonflement au contact d'huiles chaudes, de solvants aliphatiques, aromatiques et aux hydrocarbures chlorés. Il est également très résistant aux acides minéraux, même à forte concentration.

Gonfle dans les cétones, le méthanol, les esters et les éthers, dans les huiles minérales et l'essence de moteur... (sa résistance au gonflement croît avec l'augmentation de fluor dans sa composition)

**Physiques et mécaniques :**

Faible élasticité

Résistance à la traction : non chargé: 12 N/mm<sup>2</sup>; chargé de noir de carbone: 15 M/mm<sup>2</sup>  
Dureté Shore A : 45 à 95

**Résistance à la chaleur, à l'ozone et aux agents atmosphériques :**

Possède la meilleure résistance à la chaleur de tous les caoutchoucs

Résistant à l'action des agents atmosphériques et à l'ozone

Très faible perméabilité aux gaz, plus faible que celle de l'IIR

Températures d'utilisation : -10°C à 250°C

**Électriques :**

Bonnes propriétés électriques

**Caractéristiques olfactives, tactiles, visuelles :****Vieillessement/Altérations :**

OXYDATION : peu sensible à l'oxydation, mais il aura plutôt tendance à réticuler sous l'action de l'oxygène

**Tests micro-chimiques :**

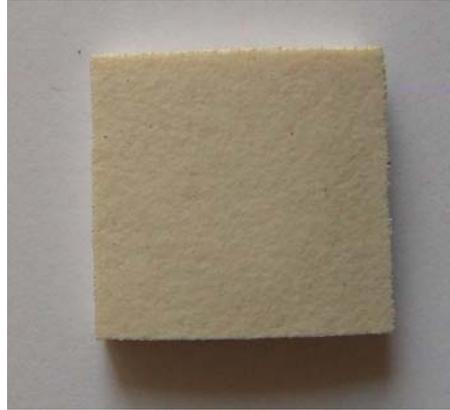
SILICONE (Q, MQ, PMQ, VMQ ou PVMQ)  
ou POLYSILOXANE

---

Photographies :



*Silicone translucide*



*Mousse de silicone*



*Tétine en silicone*



*Silicone RTV (Room Temperature Vulcanising)*

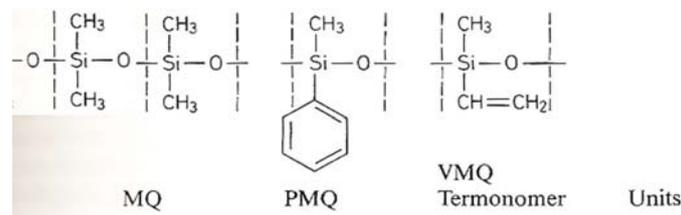


*Détail du « Gâteau d'anniversaire » de  
J.-F. Courtilat, (FRAC Pays de Loire)*

### Formule chimique et composition :

La chaîne principale du polymère n'est pas composée d'hydrocarbures, mais d'atomes de silicium et d'oxygène (le liaison Si-O-Si est appelée une liaison siloxane).

On distingue trois types de caoutchoucs en silicone: diméthylpolysiloxane (MQ), diméthylphénylpolysiloxane (PMQ), silicone de vinyle (VMQ et PVMQ)



On distingue les élastomères de silicone vulcanisant à froid, désignés comme silicones RTV : « Room Temperature Vulcanizing » et les élastomères vulcanisant à chaud, désignés sous le terme de silicones HTV : « Hot Temperature Vulcanizing ». Seuls les premiers sont employés dans le domaine artistique.

Les silicones RTV se composent des mono-composant (RTV-1) et des bi-composants (RTV-2). Ces derniers étant vulcanisés par polycondensation ou par polyaddition.

### Historique/Fabrication :

Le MQ est développé à partir de 1942 par General Electric et Dow Corning et commercialisé en 1945.

### Applications :

Les silicones sont des élastomères très coûteux, comme le FKM, et ne sont employés que pour des applications où les élastomères traditionnels ne sont pas efficaces. Ce sont des élastomères techniques employés dans le domaine médical, de l'aviation, de l'électricité, de l'électronique, de l'aérospatial, de l'automobile.

- isolants pour température basse ou élevée
- joints étanches
- diaphragmes
- tuyaux souples utilisés à des fins alimentaires ou médicales
- textiles industriels
- produits en contact avec les aliments
- produits pharmaceutiques

### Marques/Producteurs:

- |  |  |
|--|--|
| • Blensil / <i>General Electric (Suède)</i>        | RP / <i>Rhône Poulenc (France)</i>       |
| • Elastosil / <i>Wacker (Allemagne)</i>            | RTV / <i>General Electric (Suède)</i>    |
| • FRV / <i>General Electric (Suède)</i>            | SE / <i>General Electric (Suède)</i>     |
| • J-Sil / <i>J-Sil (GB)</i>                        | Silastic / <i>Dow Corning (GB)</i>       |
| • NRC / <i>Nordmann Rossmann (Allemagne)</i>       | Silopren / <i>Bayer (Allemagne)</i>      |
| • Por-A-Mold / <i>Compounding Ingredients (GB)</i> | Tufsel / <i>General Electric (Suède)</i> |

### **Caractéristiques/Propriétés:**

#### **Chimiques :**

Les plus stables chimiquement.

Ils sont résistants aux solvants aliphatiques, aux acides et bases faibles. Ils sont sensibles aux solvants aromatiques, à l'essence de moteur, aux hydrocarbures chlorés, esters, cétones et éthers, alcalis, acides. La résistance des silicones à l'eau et aux solvants est déterminée par la possible hydrolyse des molécules siloxane sous des conditions extrêmes.

Les silicones sont non adhésifs et hydrophobes. Ils n'adhèrent donc pas sur les surfaces collantes, ni sur la glace. Distinguons tout de même les silicones RTV-2 n'adhérant sur presque aucun matériau et les silicones RTV-1 qui eux présentent de bonnes propriétés adhésives.

#### **Physiques et mécaniques :**

Inertie physiologique

Faible résistance à la déchirure et à l'abrasion comparativement aux autres élastomères. Cependant, à haute température (150°C), les propriétés mécaniques du silicone changent très peu et deviennent supérieures à celles des autres élastomères.

Grande aptitude à la compression

Allongement à la rupture : 100 – 800%

Résistance à la traction : non chargé: 3 N/mm<sup>2</sup>; chargé de noir de carbone : 10 N/mm<sup>2</sup>

#### **Résistance à la chaleur, à l'ozone et aux agents atmosphériques :**

Excellente résistance à des températures basses ou élevées (Plage de température utiles : -115 à 315°C, Température d'ignition : 400° C). Les silicones peuvent commencer à se dégrader dans une plage de températures de 200 à 300°C.

Excellente résistance au vieillissement, à l'ozone (le silicone est employé pour fabriquer les tuyaux d'acheminement de l'ozone) et aux intempéries

Les silicones sont résistants aux radiations, tout particulièrement le PVMQ.

La vapeur, à 120-140°C, attaque et corrode les silicones

Perméabilité aux gaz et aux liquides supérieure à celle des autres polymères (en moyenne, elle est 100 fois supérieure à celle des IIR et NBR)

#### **Électriques :**

Excellentes propriétés d'isolant électrique. Lorsque le silicone brûle, un réseau de silice se forme et le rend isolant électrique

### **Caractéristiques olfactives, tactiles, visuelles:**

Le toucher du silicone est souvent un peu gras.

**Vieillessement/Altérations :**

Rappelons que les silicones sont parmi les élastomères les plus stables.

OXYDATION : peu sensible à l'oxydation, se manifeste pas une perte de résistance

UV : jaunissement, décoloration, perte d'élasticité

TRES HAUTES TEMPERATURES : la dureté augmente, la résistance à la rupture diminue

EAU : très bonnes propriétés hydrophobes des silicones, mais si l'eau s'accumule dans la matrice du polymère, elle peut provoquer des variations dimensionnelles

MICRO-ORGANISMES : les silicones ne sont pas susceptibles d'attaques de micro-organismes sauf en présence de nutriments organiques

EXSUDATIONS : Des polydiméthylsiloxanes ou huiles de silicones sont ajoutés comme plastifiants externes dans les compositions des silicones et n'étant pas liés chimiquement au polymère, elles peuvent migrer en surface. Leur utilisation tend à diminuer aujourd'hui. Les RTV-1 peuvent en contenir jusqu'à 30%, les RTV-2 vulcanisés par polycondensation en contiennent moins et les RTV-2 vulcanisés par polyaddition n'en contiennent pas généralement. Ces migrations peuvent provoquer des changements dimensionnels et donc des fissures et cassures.

Les exsudations peuvent également résulter d'une réticulation partielle, non achevée.

FLUAGE : Les silicones sont sensibles au fluage (ils sont d'ailleurs employés pour la prise d'empreinte) et une contrainte continue peut provoquer des déformations.

**Tests micro-chimiques :**

DENSITE : 1,25 – 1,9 g/ml

PYROLYSE : les caoutchoucs contenant du silicone ne sont pas combustibles. Lorsqu'on en brûle, il reste un résidu blanc et une fumée blanche se dégage. Il ne brûle pas en dehors de la flamme. La flamme est de couleur jaune clair et les vapeurs de combustion ne dégagent pas d'odeur. Le pH de ces vapeurs est compris entre 5 et 7.

TEST BURCHFIELD ET OSTROMOW : Couleur avec le réactif III: jaune; couleur du résidu: jaune. Ces tests doivent être recoupés par d'autres types de tests, car les charges, la température de pyrolyse, le vieillissement de l'élastomère... ont un impact sur le résultat.

## CAOUTCHOUC AUX POLYSULFURES (T ou TM)

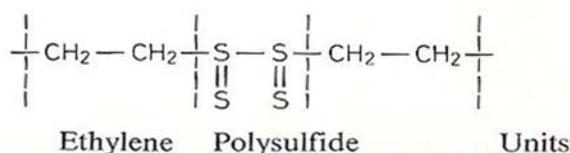
### Photographies :



Œuvre moulée, Sans titre, de Jeanne Silverthorne (FNAC)

### Formule chimique et composition :

Au lieu d'être composé d'un squelette hydrocarboné, les TM possèdent des chaînes carbone-soufre, qui possèdent des groupes terminaux divers, pouvant donc réagir différemment.



### Historique/Fabrication :

Le TM est le plus ancien exemple de produits de polycondensation possédant des propriétés élastomériques. Il fut mis sur le marché en 1930, par Thiokol Corporation, sous le nom de Thiokol A. En 1945, IG Farbenindustrie produira le Perduren®.

### Applications :

Les TM peuvent être commercialisés autant sous forme de caoutchouc de haut poids moléculaire que comme fluides ou pâtes, à bas poids moléculaire.

- Pour les TM vulcanisés et non sous forme fluide ou en pâte : produits moulés, tuyaux, joints résistant aux solvants aromatiques et aux huiles.
- Sous forme de pâte et de fluide : employé dans le domaine de l'industrie de la construction pour calfeutrer.

**Marques/Producteurs :**

- Thiokol / *Thiokol* (USA)
- Thikol LP / *Thiokol* (USA)

Perduren / *IG Farbenindustrie* (Allemagne)

**Caractéristiques/Propriétés :**

C'est un matériau relativement cher

**Chimiques :**

Excellente résistance au gonflement

Excellente résistance aux hydrocarbures aromatiques et chlorés, et aux cétones

**Physiques et mécaniques :**

Propriétés mécaniques très faibles, notamment dans le domaine de la déformation rémanente après compression

Présente très peu de retrait

**Résistance à la chaleur, à l'ozone et aux agents atmosphériques :**

Bonne résistance à l'ozone et à l'action des agents atmosphériques

**Caractéristiques olfactives, tactiles, visuelles :****Vieillessement/Altérations :**

FLUAGE : Comme nous l'avons évoqué précédemment la déformation rémanente après compression est mauvaise ce qui explique qu'une contrainte continue peut provoquer des déformations.

**Tests micro-chimiques :**

DENSITE : 1,35 g/cm<sup>3</sup>

## TABLEAU RECAPITULATIF DES DOMAINES D'UTILISATION DES CAOUTCHOUCS

	NR	Gutta Percha Balata	Crêpe	Ébonite	Caoutchouc oxydé	Caoutchouc chloré
Aéronautique						
Automobile	x					
Alimentaire	x					
Bâtiments et travaux publics						
Chaussures	x		x			
Electroménager				x		
Mobilier						
Médecine	x					
Peinture					x	x
Pharmacie	x					
Pneumatique	x					
Sport		x		x		
Textile						
Vernis					x	x
Joints	x					
Tuyaux, courroies...						
Revêtements techniques			x	x		
Isolation (thermique, phonique ou électrique)		x	x			x
Fils électriques et câbles		x				
Adhésifs					x	x
Objets résistant à l'abrasion						

	Caoutchouc cyclisé	BR	SBR	NBR	IR	IIR	CR	EPDM
Aéronautique				x				
Automobile				x		x	x	x
Alimentaire			x	x	x			x
Bâtiments et travaux publics						x	x	x
Chaussures		x	x	x	x			
Electroménager								x
Mobilier								
Médecine								
Peinture	x							
Pharmacie			x	x	x	x		x
Pneumatique		x	x		x	x		x
Sport					x	x	x	
Textile						x	x	
Vernis								
Joints							x	
Tuyaux, courroies...			x	x		x	x	x
Revêtements techniques	x	x				x	x	
Isolation (thermique, phonique ou électrique)						x		x
Fils électriques et câbles							x	
Adhésifs	x			x		x	x	
Objets résistant à l'abrasion		x	x					

	EVM	CM	CSM	ACM	CO ECO ETER	FKM	VMQ	TM
Aéronautique							x	
Automobile				x	x			
Alimentaire			x				x	
Bâtiments et travaux publics				x				x
Chaussures								
Electroménager								
Mobilier								
Médecine							x	
Peinture								
Pharmacie			x				x	
Pneumatique								
Sport								
Textile			x				x	
Vernis								
Joints				x	x	x	x	x
Tuyaux, courroies...				x	x	x	x	x
Revêtements techniques	x				x			
Isolation (thermique, phonique ou électrique)							x	
Fils électriques et câbles		x						
Adhésifs	x							
Objets résistant à l'abrasion								
Membranes	x				x			

## TABLEAU RECAPITULATIF DES PROPRIETES DES CAOUTCHOUCS

	NR	Gutta Percha Balata	Crêpe	Ebonite	Caoutchouc oxydé	Caoutchouc chloré
Résistance à la traction	<b>xxx</b>			<b>xxx</b>	<b>xx</b>	
Résistance à la déchirure	<b>xxx</b>				<b>xx</b>	
Résistance à l'abrasion	<b>xxx</b>				<b>xx</b>	<b>xx</b>
Résistance à la déformation rémanente après compression	<b>xxx</b>		<b>x</b>			
Propriétés électriques (isolant)	<b>xx</b>			<b>xxx</b>		
Propriétés d'isolant thermique		<b>xxx</b>				
Tenue au froid						
Tenue à la chaleur	<b>x</b>				<b>xx</b>	
Résistance au feu						<b>xxx</b>
Résistance à l'oxygène	<b>x</b>					
Résistance à l'ozone	<b>x</b>					
Imperméabilité aux gaz	<b>x</b>					<b>xx</b>
Résistance à l'eau	<b>xx</b>					<b>xx</b>
Résistance aux solvants aliphatiques	<b>x</b>		<b>0</b>			
Résistance aux solvants aromatiques	<b>x</b>		<b>0</b>			
Résistance aux cétones	<b>xx</b>					
Résistance aux solvants chlorés	<b>x</b>					
Résistance aux acides	<b>x</b>					<b>xxx</b>
Résistance aux bases						
Résistance aux huiles	<b>x</b>					
Résistance aux carburants	<b>x</b>					
Résistance aux alcools	<b>xx</b>					
Résistance aux esters	<b>xx</b>					
Résistance aux éthers						

**0: nul; x: faible; xx: correct; xxx : élevé**

	Caoutchouc cyclisé	BR	SBR	NBR	IR	IIR	CR	EPDM
Résistance à la traction		x	xx	xx	xxx	xx	xxx	xx
Résistance à la déchirure			xx				xxx	xx
Résistance à l'abrasion	xx	xxx	xxx	xxx	xxx			xx
Résistance à la déformation rémanente après compression					xx			xx
Propriétés électriques (isolant)		xx	xx	0		xx		xxx
Propriétés d'isolant thermique								
Tenue au froid		xxx						
Tenue à la chaleur	xx		xxx	xxx		xx	xxx	xx
Résistance au feu							xxx	
Résistance à l'oxygène		xx	0	x		xx	xxx	xxx
Résistance à l'ozone		x	0	x		xx	xxx	xxx
Imperméabilité aux gaz						xx	xx	
Résistance à l'eau		xx	xx	xx		xx	xxx	xxx
Résistance aux solvants aliphatiques		x	x	x				xx
Résistance aux solvants aromatiques		x	x	x			x	xx
Résistance aux cétones				x			x	xx
Résistance aux solvants chlorés							x	
Résistance aux acides				x		xx		
Résistance aux bases								
Résistance aux huiles			x	xx				xx
Résistance aux carburants			x	x		x		
Résistance aux alcools			xx	xx				
Résistance aux esters				x			x	
Résistance aux éthers								

**0: nul; x: faible; xx: correct; xxx : élevé**

	EVM	CM	CSM	ACM	CO ECO ETER	FKM	VMQ	TM
Résistance à la traction (sans charge)	xx	xx	xxx	x	xx	xx	x	
Résistance à la déchirure			xx	xx			x	
Résistance à l'abrasion	xx		xxx				x	
Résistance à la déformation rémanente après compression	xx	xx			xxx		xxx	x
Propriétés électriques (isolant)	x		xx			xx	xxx	
Propriétés d'isolant thermique								
Tenue au froid			xx	x	xx		xxx	
Tenue à la chaleur		xx	xx	xx	xxx	xxx	xxx	
Résistance au feu	xx				xx			
Résistance à l'oxygène	xxx	xxx	xxx			xx	xxx	xx
Résistance à l'ozone	xxx	xxx	xxx	xx	xxx	xx	xxx	xx
Imperméabilité aux gaz					xx	xxx	x	
Résistance à l'eau			xx	xx			xxx	
Résistance aux solvants aliphatiques			x	x		xx	xx	
Résistance aux solvants aromatiques			x	x		xx	x	xxx
Résistance aux cétones			x			x	x	xxx
Résistance aux solvants chlorés			x				x	xxx
Résistance aux acides				xx			x	
Résistance aux bases							x	
Résistance aux huiles		xx	xxx	xxx	xxx	x		
Résistance aux carburants			xxx		xxx	x	0	
Résistance aux alcools			xx	x		x		
Résistance aux esters						x		
Résistance aux éthers						x		

0: nul; x: faible; xx: correct; xxx : élevé