



CONFÉDÉRATION SUISSE

OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

⑪ CH 652 136 A5

⑤① Int. Cl. 4: C 08 L 83/04
C 08 K 3/36**Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein**

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

⑫ FASCICULE DU BREVET A5

⑲ Numéro de la demande: 34/82

⑦③ Titulaire(s):
Rhône-Poulenc Industries, Paris 8e (FR)

⑳ Date de dépôt: 05.01.1982

③① Priorité(s): 07.01.1981 FR 81 00115

⑦② Inventeur(s):
Bouverot, Noël, Saint-Symphorien-d'Ozon (FR)
Medard, Paul, Oullins (FR)
Viale, Alain, Venissieux (FR)

㉔ Brevet délivré le: 31.10.1985

④⑤ Fascicule du brevet
publié le: 31.10.1985⑦④ Mandataire:
Kirker & Cie SA, Genève

⑤④ Compositions organopolysiloxaniques pâteuses durcissant à chaud en élastomères.

⑤⑦ On décrit des compositions organopolysiloxaniques pâteuses. Ayant une pénétration s'étalant de 80 à 400, formées par mélange de 100 parties d'huiles diorganopolysiloxaniques de viscosité 500 à 300 000 mPa.s à 25°C, de 7 à 85 parties de silices renforçantes de surface spécifique d'au moins 50 m²/g, de 1 à 20 parties d'agents antistructures et de 0,1 à 4 parties de peroxydes organiques.

Les silices renforçantes comprennent 55 à 95 % de silices de précipitation et 45 à 5 % de silices de combustion.

Ces compositions permettent d'obtenir après durcissement à chaud des élastomères de bonnes propriétés mécaniques.

D - 0,1 à 4 parties d'agents de réticulation à base de peroxydes organiques.

Elles sont caractérisées en ce que les silices renforçantes B, comprennent de 55 à 95% de silices de précipitation et de 45 à 5% de silices de combustion, ces silices étant non traitées ou traitées (mais dans la proportion d'eau plus 60%, de préférence d'eau plus 55%) par des composés organosiliciques fabriqués industriellement, apportant des motifs choisis parmi ceux de formules $(\text{CH}_3)_2\text{SiO}$, $(\text{CH}_3)(\text{CH}_2=\text{CH})\text{SiO}$, $(\text{CH}_3)_3\text{SiO}_{0,5}$, $(\text{CH}_3)_2(\text{CH}_2=\text{CH})\text{SiO}_{0,5}$.

Les huiles diorganopolysiloxaniques A, de viscosité 500 à 300 000 mPa.s à 25°C, de préférence 800 à 250 000 mPa.s à 25°C, sont des polymères linéaires constitués essentiellement des motifs précités de formules R_2SiO et $\text{R}_2\text{R}'\text{SiO}_{0,5}$; il n'est cependant pas exclu qu'elles renferment de faibles quantités, représentant au plus 1% en nombre, de motifs de formules $\text{RSiO}_{1,5}$ et/ou SiO_2 .

Les radicaux hydrocarbonés, substitués ou non par des atomes d'halogènes, des groupes cyano, ayant de 1 à 8 atomes de carbone, représentés par les symboles R, englobent:

— les radicaux alcoyles et halogénoalcoyles ayant de 1 à 3 atomes de carbone tels que les radicaux méthyles, éthyles, propyles, isopropyles, trifluoro-3,3,3 propyles

— les radicaux alcényles ayant de 2 à 4 atomes de carbone tels que les radicaux vinyles, allyles, butène-2 yles

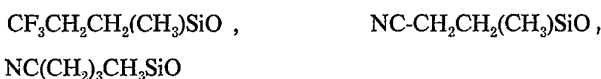
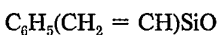
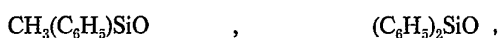
— les radicaux cycloalcoyles et halogénocycloalcoyles, ayant de 5 à 6 atomes de carbone nucléaire, tels que les radicaux cyclopentyles, cyclohexyles, méthylcyclohexyles, chlorocyclohexyles

— les radicaux aryles et halogénoaryles mononucléaires, ayant de 6 à 8 atomes de carbone tels que les radicaux phényles, tolyles, xylyles, chlorophényles, dichlorophényles, trichlorophényles

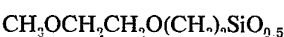
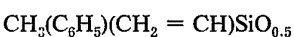
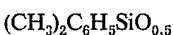
— les radicaux cyanoalcoyles dont les restes alcoyles ont de 2 à 3 atomes de carbone tels que les radicaux β -cyanoéthyles, γ -cyanopropyles.

Comme exemples concrets de radicaux alcoyles, ayant de 1 à 4 atomes de carbone, représentés par les radicaux R', peuvent être cités les radicaux méthoxyles, ethoxyles, n-propoxyles, isopropoxyles, n-butoxyles.

A titre illustratif de motifs constituant essentiellement les huiles diorganopolysiloxaniques A, peuvent être cités respectivement les motifs $(\text{R})_2\text{SiO}$ de formules:



et les motifs $(\text{R})_2\text{R}'\text{SiO}_{0,5}$ de formule:



Les huiles diorganopolysiloxaniques A sont commercialisées par les fabricants de silicones; d'autre part elles peuvent être aisément fabriquées en suivant les techniques déjà connues. Ainsi l'une des plus courantes consiste à polymériser des diorganocyclopolysiloxanes à l'aide de quantités catalytiques d'agents alcalins ou acides. Au cours de cette polymérisation sont ajoutés:

1 - (quand $\text{R}' = \text{R}$), des diorganopolysiloxanes de faible poids moléculaire de formule R_3SiO (R_2SiO) $_x\text{SiR}_3$.

10 x ayant une valeur suffisante pour conduire à une viscosité s'étalant de 0,5 à 100 mPa.s à 25°C

2. (quand $\text{R}' = \text{OH}$), de l'eau et/ou une huile de formule HOR_2SiO (SiR_2O) $_y\text{SiR}_2\text{OH}$

15 y ayant un valeur suffisante pour conduire à une viscosité s'étalant de 5 à 200 mPa.s à 25°C

3. (quand $\text{R}' = \text{alcoyle}$ ou $\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{O}$), l'alcool correspondant $\text{R}'\text{H}$ et/ou une huile de faible poids moléculaire de formule $\text{R}'\text{R}_2\text{SiO}(\text{R}_2\text{SiO})_z\text{SiR}'_2$

20 z ayant une valeur suffisante pour conduire à une viscosité s'étalant de 0,5 à 120 mPa.s à 25°C.

Les polymères obtenus sont, de préférence, purifiés en éliminant, à une température en général supérieure à 70°C et sous une pression en général inférieure à la pression atmosphérique, les composés de départ non transformés équivalant à la réaction de polymérisation ainsi que les polymères de faible poids moléculaire éventuellement formés lors de cette réaction. Il est recommandé, avant de distiller les produits volatils, de neutraliser les agents alcalins ou acides utilisés comme catalyseurs de polymérisation.

Les silices B sont utilisées à raison de 7 à 85 parties, de préférence 10 à 80 parties pour 100 parties des huiles diorganopolysiloxaniques A. Elles sont constituées de 2 types de silices:

(i) des silices de précipitation représentant 55 à 95%, de préférence 60 à 90% des silices B.

(2i) des silices de combustion représentant le complément à 100%, soit 45 à 5%, de préférence 40 à 10%, des silices B.

Les proportions pondérales précitées des 2 types de silices caractérisent les compositions conformes à l'invention. Elles contribuent pleinement d'une part à obtenir la pénétration désirée s'étalant de 80 à 400 et d'autre part à donner aux élastomères, issus des compositions, de bonnes propriétés mécaniques.

Les silices de précipitation et de combustion utilisées sont celles commercialisées par les fabricants de charges minérales; elles ont une surface spécifique (mesurée selon la méthode BET), d'au moins 50 m²/g, de préférence supérieure à 80 m²/g et pouvant dépasser 350 m²/g, une dimension moyenne des particules primaires inférieure à 80 nm et une densité apparente inférieure à 250 g/litre.

Elles diffèrent cependant par leur mode de fabrication. Les silices de précipitation découlent de l'acidification de solutions aqueuses de silicates alcalins et, contrairement aux silices de combustion, elles sont le plus souvent poreuses et possèdent un taux nettement plus important de groupes OH superficiels. Des détails sur leur procédé de préparation et leurs caractéristiques physiques figurent dans les brevets français 2 245 709, 2 356 596 et 2 395 952.

60 Les silices de combustion découlent de l'hydrolyse de chlorosilanes, plus particulièrement du tétrachlorosilane, à des températures supérieures à 800°C, dans une flamme engendrant de la vapeur d'eau obtenue par combustion dans l'air ou l'oxygène, d'hydrogène et/ou de composés hydrocarbonés. Des détails sur leurs procédés de préparation et leurs caractéristiques physiques figurent dans les brevets français 1 007 493, 1 074 265, 2 137 479.

Ces silices peuvent être utilisées telles quelles, ce qui est

préférable étant donné que c'est la solution la moins coûteuse, ou bien après avoir été traitées par des composés organosiliciques habituellement employés pour cet usage et accessibles sur le marché des produits chimiques; toutefois la totalité des charges utilisées n'est pas traitée mais au plus 60%, de préférence 55%. Les composés servant à traiter les charges sont représentés, par exemple, par des méthylpolysiloxanes tels que l'hexaméthylsiloxane, l'octaméthylcyclotétrasiloxane, des méthylpolysilazanes tels que l'hexaméthylsilazane, l'hexaméthylcyclotrisilazane, des chlorosilanes, tels que le diméthylchlorosilane, le triméthylchlorosilane, le méthylvinylchlorosilane, le diméthylvinylchlorosilane, des alcoxy-silanes tels que le diméthyl-diméthoxy-silane, le triméthyl-méthoxy-silane, le triméthyl-éthoxy-silane, le diméthyl-vinyl-éthoxy-silane.

Lors de ce traitement les composés organosiliciques précités se fixent sur la zone superficielle des silices et/ou réagissent avec cette zone, en particulier avec les groupes hydroxyles qu'elle porte. Il en résulte un apport de motifs choisis dans le groupe constitué de ceux de formules $(\text{CH}_3)_2\text{SiO}$, $(\text{CH}_3)(\text{CH}_2=\text{CH})\text{SiO}$, $(\text{CH}_3)_3\text{SiO}_{0,5}$, $(\text{CH}_3)_2(\text{CH}_2=\text{CH})\text{SiO}_{0,5}$. Les silices traitées peuvent ainsi accroître leur poids de départ d'un pourcentage allant jusqu'à 20%, en général jusqu'à 15%.

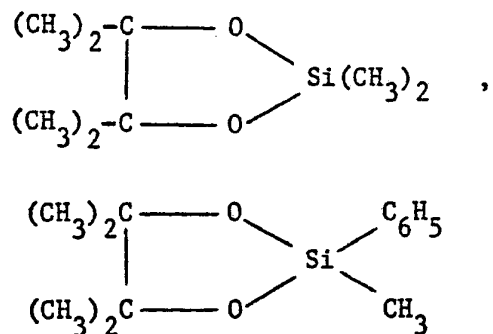
Les agents antistruccures C sont utilisés à raison de 1 à 20 parties, de préférence 2 à 15 parties, pour 100 parties des huiles diorganopolysiloxaniques A. Leur présence empêche les compositions de subir une évolution au cours du temps, laquelle évolution se traduit généralement par une diminution de la valeur des pénétrations.

Ils sont choisis le plus souvent parmi:

— les huiles diorganopolysiloxaniques de faibles viscosités, de l'ordre de 5 à 500 mPa.s à 25°C, bloquées à chaque extrémité de leur chaîne par un radical hydroxyle et/ou un radical alcoyle ayant de 1 à 3 atomes de carbone. Les radicaux organiques, liés aux atomes de silicium de ces huiles, sont, de préférence, des radicaux méthyles, éthyles, vinylyles, phénylyles, trifluoro-3,3,3 propyles.

A titre d'exemples concrets de ces huiles peuvent être citées les huiles α - ω dihydroxydiméthylpolysiloxaniques, α - ω dihydroxyméthylphénylpolysiloxaniques, α - ω diméthoxydiméthylpolysiloxaniques et α - ω diméthoxyméthylphénylpolysiloxaniques, ayant de 3 à 12% de radicaux hydroxyles ou méthoxyles.

— le diphenylsilanediol et les silanes de formules:



Les agents de réticulation D sont utilisés à raison de 0,1 à 4 parties, de préférence 0,15 à 3,5 parties, pour 100 parties des huiles diorganopolysiloxaniques. Ce sont des peroxydes organiques habituellement employés pour le durcissement des élastomères silicones vulcanisés à chaud. Ces peroxydes comportent plus spécialement le peroxyde de benzoyle, le peroxyde de dichloro-2,4 benzoyle, le peroxyde de dicumyle, le bis(t-butylperoxy)-2,5 diméthyl-2,5 hexane, le perbenzoate de t-butyle, le peroxyde de di-t-butyle, le peroxyde de cumyle et de t-butyle, le carbonate de t-butyl-

peroxyde et d'isopropyle, le bis(t-butylperoxy)-1,1 triméthyl-3,3,5 cyclohexane, le peroxyde de cumyle et d' α - α diméthyl p-méthylbenzyle, l' α - α' bis (t-butylperoxy)diisopropylbenzène.

5 Ces peroxydes se décomposent à des températures et à des vitesses parfois différentes. Ils seront donc choisis en fonction de la technique de durcissement adoptée pour les compositions conformes à l'invention.

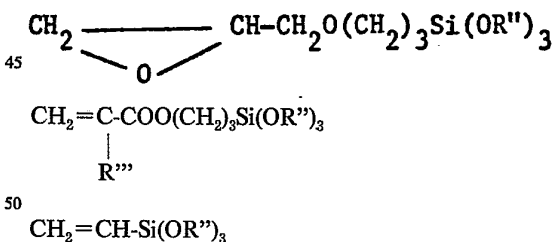
D'autres corps, en dehors des composés A, B, C et D, 10 peuvent être introduits dans les compositions conformes à l'invention. Ainsi avec les silices finement divisées B peuvent être associées des charges minérales plus grossières dont le diamètre particulaire est supérieur à 0,1 μ . Ces charges sont représentées, par exemple, par le quartz broyé, 15 les argiles calcinées, les silices de diatomées, le carbonate de calcium, les oxydes de fer, de titane, de magnésium, d'aluminium.

Elles sont introduites à raison d'au plus 120 parties, de préférence 100 parties, pour 100 parties des huiles diorganopolysiloxaniques A. Ces charges peuvent être utilisées telles quelles ou après été traitées avec les composés organosiliciques déjà cités pour le traitement des silices finement divisées B.

En outre peuvent être introduits des pigments, des stabilisants thermiques (tels que les sels d'acides carboxyliques de fer, de manganèse), des agents retardant la combustion tels que des dérivés du platine.

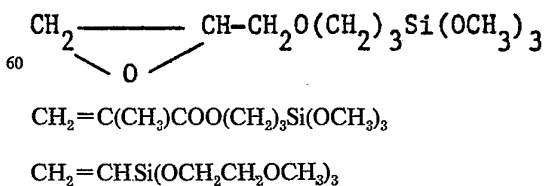
Ces dérivés du platine (choisi généralement parmi l'acide chloroplatinique et les complexes ou les produits de réaction 30 de cet acide ou d'autres chlorures du platine avec des dérivés organiques ou organosiliciques) sont de préférence associés avec des oxydes et hydroxydes de cérium, ou des oxydes de titane et de fer de combustion. De telles associations, et leur introduction dans les compositions organopolysiloxaniques durcissant à chaud en élastomères, sont décrites en particulier dans les brevets français 2 051 792, 2 166 313 et 2 203 846.

D'autres adjuvants peuvent encore être utilisés dans le 40 dessein d'améliorer les propriétés mécaniques, l'adhérence à divers supports. Ces adjuvants englobent par exemple les silanes de formules ci-après, et leurs produits d'hydrolyse ou de cohydrolyse partielle:



Les symboles R'' représentent les radicaux méthyles, éthyles, n-propyles, β -méthoxyéthyles; le symbole R''' représente un atome d'hydrogène ou le radical méthyle.

A titre d'exemples concrets de ces silanes peuvent être cités ceux de formules:



65 Ces adjuvants sont utilisés à raison de 0,05 à 5 parties, de préférence 0,1 à 4 parties, pour 100 parties des huiles diorganopolysiloxaniques A.

La préparation des compositions conformes à l'invention s'effectue par le mélange intime des divers constituants A, B, C et D et éventuellement des autres corps précités. Ce mélange a lieu dans les appareils appropriés utilisés par les fabricants de caoutchouc. Toutefois, étant donné le choix des constituants, il est beaucoup plus facile d'arriver à des mélanges homogènes avec des moyens moins puissants et pendant un temps plus court que pour la préparation de compositions organopolysiloxaniques usuelles renfermant, à la place des huiles A, des gommes diorganopolysiloxaniques.

En particulier les mélangeurs à cylindres ne sont pas utilisables, ce qui est un avantage puisqu'ils consomment du temps et de l'énergie. Par contre peuvent être employés des pétrins, ou des mélangeurs à fourreaux cylindriques équipés de vis, opérant en marche continue ou discontinue; dans ces mélangeurs à fourreaux cylindriques les vis tournent et peuvent également être soumises à des mouvements de va-et-vient.

L'ordre d'introduction des divers constituants dans les appareils précités peut être quelconque. Néanmoins lorsque les mélanges des constituants sont chauffés à des températures supérieures à 60-80°C, dans le dessein d'accélérer, par exemple, le mouillage des charges B par les huiles A (ce qui permet de réduire le temps d'occupation des appareils), il est alors nécessaire d'ajouter les agents de réticulation D en dernier et seulement lorsque la température des mélanges est redescendue à un niveau convenable.

Les compositions obtenues sont des produits pâteux dont la valeur de la pénétration, mesurée selon la norme NF T 60-132, s'étale de 80 à 400, en général de 90 à 370. Elles sont donc aisément manipulables et en particulier peuvent être introduites dans les systèmes d'alimentation des presses à mouler, par simple pompage à l'aide de pompes, par exemple à piston. Elles peuvent être ensuite durcies en pièces de toutes formes et dimensions par les techniques de moulages traditionnelles telles que le moulage par transfert, par compression, par injection, étant entendu que le matériel de moulage employé n'a pas besoin d'être aussi lourd et coûteux que celui employé avec les compositions organopolysiloxaniques caoutchouteuses (ce matériel lourd et coûteux est décrit en particulier dans l'ouvrage de W. LYNCH intitulé «Handbook of silicon rubber fabrication» pages 43 à 83); un matériel de moulage léger du type de celui utilisé avec les matières plastiques de basse et moyenne viscosité à l'état fondu, est suffisant. Le moules des presses, pendant l'opération de durcissement des compositions, sont en général portés à une température supérieure à 100°C et inférieure à 250°C.

Les propriétés mécaniques des élastomères issus des compositions de la présente invention sont bonnes, peu inférieures à celles des élastomères silicones usuels, vulcanisés à chaud. Ces propriétés varient évidemment selon, par exemple, le taux d'incorporation des charges B, mais pour des duretés Shore A allant de 40 à 80 on peut obtenir des résistances à la rupture allant de 6 à 8 MPa et même se situant au-dessus de ces valeurs.

Les exemples suivants illustrent l'invention:

Exemple 1

On charge dans un pétrin:

— 100 parties d'une huile α - ω bis(diméthylvinylsiloxyl)-diméthylpolysiloxanique de viscosité 100 000 mPa.s à 25°C

— 4 parties d'une huile α - ω dihydroxidiméthylpolysiloxanique de viscosité 50 mPa.s à 25°C

— 10 parties d'une silice de combustion de surface spécifique BET 200 m²/g, de diamètre moyen des particules primaires 21 nm, de densité apparente 50 g/l.

— 35 parties d'une silice de précipitation de surface spécifique BET 170 m²/g de densité apparente 70 g/l, de diamètre moyen des particules primaires 18 nm.

Le mélange, soumis à un malaxage efficace, est chauffé progressivement jusqu'à 150°C; il est ensuite malaxé à cette température pendant 1 heure. Après refroidissement vers 30°C, on ajoute au mélange 2,25 parties d'une pâte formée par dispersion de 50 parties du peroxyde de dichloro-2,4 benzoyl dans 50 parties d'une huile α - ω bis(triméthylsiloxyl)diméthylpolysiloxanique de viscosité 1000 mPa.s à 25°C.

La composition obtenue, nommée P₁, a une pénétration mesurée selon la norme NF T 60-132 (correspondant à la norme ASTM D 217-68) de 190. On durcit cette composition P₁ en plaques d'élastomères de 2 mm d'épaisseur par chauffage, dans un moule, pendant 8 minutes à 115°C, sous une pression de 50 bars. Un lot de ces plaques est chauffé pendant 4 heures à 200°C, à l'air ambiant dans une étuve ventilée; un autre lot est chauffé dans les mêmes conditions pendant 10 jours à 200°C.

On mesure, sur ces plaques, par prélèvements d'échantillons normalisés, les propriétés suivantes:

- Dureté Shore A selon la norme ASTM D 2240
- Résistance à la rupture en MPa selon la norme AFNOR T 46-002 (correspondant à la norme ASTM D 412)
- Allongement à la rupture en % selon la norme précédente.

Les résultats des mesures sont les suivants (les chiffres situés à gauche concernant les plaques chauffées pendant 4 heures à 200°C, les chiffres situés à droite, entre parenthèses, concernent les plaques chauffées pendant 10 jours à 200°C):

35	. Dureté Shore	56	(58)
	. Résistance à la rupture	7,5 MPa	(6,7% MPa)
	. Allongement à la rupture	510%	(390%)

A titre comparatif on fabrique la composition organopolysiloxanique décrite à l'exemple 1 du brevet américain 3 791 998. Cette composition est ensuite durcie en plaques de 2 mm en suivant la technique mise en œuvre pour durcir la composition P₁; un lot des plaques est chauffé pendant 4 heures à 200°C à l'air ambiant et un autre lot pendant 10 jours à 200°C à l'air ambiant. Les propriétés mécaniques mesurées sur ces plaques d'élastomères, sont les suivantes (seules figurent les mesures faites sur les plaques chauffées 4 heures à 200°C, les plaques chauffées 10 jours à 200°C n'ont pas de propriétés mesurables):

50	. Dureté shore A	35
	. Résistance à la rupture	0,9 MPa
	. Allongement à la rupture	160%

Ces valeurs sont très nettement inférieures à celles mesurées sur les plaques d'élastomères issues de la compositions P₁. Des élastomères ayant des propriétés mécaniques aussi faibles ne peuvent être utilisés seuls, ils doivent être supportés par des matériaux tenaces.

60

Exemple 2

10 autres compositions P₂ à P₁₁ sont préparées selon le mode de fabrication, décrit à l'exemple 1, de la compositions P₁.

Toutefois, des modifications sont apportées concernant la quantité pondérale ou la nature des constituants utilisés pour préparer la composition P₁. Ces modifications, et aussi l'addition d'autres constituants, sont indiquées ci-après:

Composition P₂

Les 100 parties de l'huile α - ω bis(diméthylvinylsiloxy)-diméthylpolysiloxanique des viscosité 100 000 mPa.s à 25°C sont remplacées par 100 parties d'une huile semblable mais de viscosité 50 000 mPa.s à 25°C.

Composition P₃

Les 100 parties de l'huile α - ω bis(diméthylvinylsiloxy)-diméthylpolysiloxanique de viscosité 100 000 mPa.s à 25°C sont remplacées par 100 parties d'une huile semblable de viscosité 14 000 mPa.s à 25°C.

Composition P₄

Les 100 parties de l'huile α - ω bis(diméthylvinylsiloxy)-diméthylpolysiloxanique de viscosité 100 000 mPa.s à 25°C sont remplacées par 100 parties d'une huile α - ω bis(triméthylsiloxy)diorganopolysiloxanique de viscosité 100 000 mPa.s à 25°C dont la chaîne diorganopolysiloxanique est formée de motifs (CH₃)SiO et CH₃(CH₂=CH)SiO, les radicaux vinyles représentant 0,020% du poids de l'huile.

Composition P₅

Les 35 parties de la silice précipitation de surface spécifique BET 170 m²/g, sont remplacées par 25 parties de la même silice.

Composition P₆

Les parties de la silice de précipitation, de surface spécifique BET 170 m²/g, sont remplacées par 15 parties de la même silice.

Composition P₇

Les 35 parties de la silice de précipitation, de surface spécifique BET 170 m²/g, sont remplacés par 40 parties de la même silice; en outre est ajoutée 0,5 partie du silane de formule CH₂=C(CH₃)COO(CH₂)₃Si(OCH₃)₃.

Composition P₈

10 parties de quartz broyé de diamètre particulaire moyen 5 microns, de surface spécifique BET 7 m²/g, sont ajoutées aux constituants de P₁.

Composition P₉

50 parties de quartz broyé de diamètre particulaire moyen 5 microns, de surface spécifique BET 7 m²/g, sont ajoutées aux constituants de P₁.

Composition P₁₀

50 parties de quartz broyé de diamètre particulaire moyen 5 microns, de surface spécifique BET 7 m²/g, et 0,5 partie du silane de formule CH₂=C(CH₃)COO(CH₂)₃Si(OCH₃)₃ sont ajoutées aux constituants de P₁.

Composition P₁₁

Les 35 parties de la silice de précipitation de surface spécifique BET 170 m²/g, sont remplacées par 8 parties de la même silice; en outre sont ajoutées 7 parties d'une silice de combustion de surface spécifique 300 m²/g traitée par de l'octaméthylcyclotétrasiloxane.

On mesure les pénétrations des compositions ainsi que les propriétés mécaniques des élastomères issus du durcissement de ces compositions. Les techniques de mesures et le procédé de durcissement sont ceux décrits à l'exemple 1, les plaques d'élastomères sont seulement chauffées 4 heures à 200°C à l'air ambiant.

	Penetration	Dureté shore A	Résistance à la rupture en MPa	Allongement à rupture en %	
25					
30	P ₂	185	57	7,5	350
	P ₃	180	58	6,3	280
	P ₄	175	55	6,2	320
35	P ₅	210	50	7,1	500
	P ₆	270	43	5,5	520
	P ₇	140	68	7,5	270
	P ₈	175	58	7,6	340
40	P ₉	150	66	7,2	240
	P ₁₀	130	73	8,1	170
	P ₁₁	240	40	6,1	570