

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 045 495

②1 N° d'enregistrement national : **15 63041**

⑤1 Int Cl⁸ : **B 60 C 11/03 (2017.01)**, B 60 C 1/00, C 08 L 7/00, 9/00, 61/10, C 08 K 3/04, 3/36

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

②2 Date de dépôt : 22.12.15.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 23.06.17 Bulletin 17/25.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *COMPAGNIE GENERALE DES ETABLISSEMENTS MICHELIN Société en commandite par actions — FR et MICHELIN RECHERCHE ET TECHNIQUE S.A. Société anonyme — CH.*

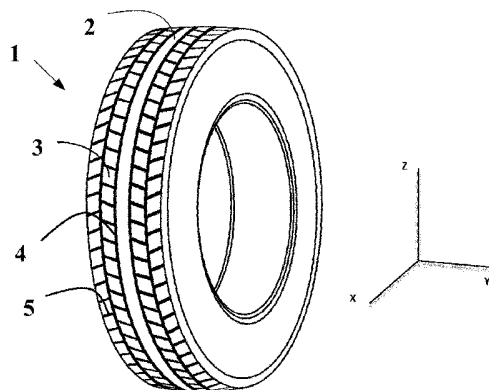
⑦2 Inventeur(s) : ARAUJO DA SILVA JOSE-CARLOS, MAESAKA MASAYUKI et MANSUY PHILIPPE.

⑦3 Titulaire(s) : *COMPAGNIE GENERALE DES ETABLISSEMENTS MICHELIN Société en commandite par actions, MICHELIN RECHERCHE ET TECHNIQUE S.A. Société anonyme.*

⑦4 Mandataire(s) : MANUFACTURE FRANCAISE DES PNEUMATIQUES MICHELIN.

⑤4 **MATERIAUX COMPOSITES A BASE D'EMPLIAGE ORIENTE DE MELANGES DURS-MOUS POUR LE COUPLAGE MECANIQUE.**

⑤7 La présente invention est relative à des matériaux permettant de générer du couplage mécanique dans des compositions élastomériques, utilisable notamment pour la fabrication de bandes de roulement de pneumatiques. En particulier elle se rapporte à une bande de roulement comprenant un empilage de couche à haut et bas module de rigidité.



FR 3 045 495 - A1



Domaine technique

La présente invention est relative à des matériaux permettant de générer du couplage mécanique dans des compositions élastomériques, utilisable notamment pour la fabrication de bandes de roulement de pneumatiques.

5

Etat de la technique

L'amélioration de la résistance à l'usure des pneumatiques est une problématique très importante notamment en raison du coût des pneumatiques. Cette problématique concerne tout type de pneumatique, mais est d'autant plus importante pour les pneumatiques de véhicules poids lourds et de génie civil en raison de l'impact économique lié à l'immobilisation des véhicules lors du remplacement des pneumatiques usés.

10

Particulièrement, dans le domaine du génie civil, et en particulier le domaine minier, les pneumatiques sont utilisés sur des sites d'extraction de minerai ou de charbon essentiellement, ainsi que dans des carrières. L'usage consiste, de manière simplifiée, en :

15

- Un cycle aller en charge, généralement en montée pour le minerai et le charbon, généralement en descente pour les carrières, pour transporter le minerai ou le matériau stérile vers les zones de déchargement (« crusher » pour le minerai, « dumping zones » pour le matériau stérile) ;

20

- Un cycle retour à vide, généralement en descente pour l'usage minier, généralement en montée pour l'usage carrière, pour retourner vers les zones de chargement.

25

Les pneumatiques équipant les dumpers miniers concernés sont, en règle générale, montés sur l'essieu avant du véhicule pendant le premier tiers de leur vie, puis ensuite permutés en monte jumelée sur l'essieu arrière pour les deux tiers de vie restants. Le couple moteur est transmis via l'essieu arrière, le couple freineur est également quasi-exclusivement transmis via l'essieu arrière en utilisant le frein moteur (thermique ou électrique dans le cas d'une telle transmission).

30

Du point de vue du gestionnaire d'une mine, le transport du minerai et du matériau stérile représente une part importante des coûts opérationnels de la mine, et la part des pneumatiques dans cette contribution est significative. Limiter la vitesse d'usure est donc un axe majeur de réduction des coûts d'exploitation. Du point de vue du fabricant de pneumatiques, développer des solutions techniques permettant de réduire la vitesse d'usure est donc un élément stratégique important.

35

Les pneumatiques miniers de l'essieu arrière des dumpers rigides sont soumis à des efforts importants (passage de couple moteur et freineur) car les pentes des pistes pour

40

sortir des mines à ciel ouvert (« pit » en anglais) sont en général de l'ordre de 8,5 à 10%. Cette valeur de pente permet d'optimiser la productivité des véhicules avec les puissances actuelles disponibles. Ces sollicitations se traduisent par une usure relativement rapide des pneumatiques. Il s'agit donc de proposer une solution technique permettant d'améliorer la performance usure des pneumatiques de cet essieu, à la fois sous couple moteur en charge et sous couple freineur à vide.

De nombreuses solutions ont été recherchées pour augmenter la résistance à l'usure de manière à prolonger au maximum leur durée de vie et ainsi réduire les coûts d'exploitation.

Dans le domaine des pneumatiques de véhicules de génie civil, il est connu d'utiliser dans des bande de roulement de véhicules hors la route, du caoutchouc naturel, une charge renforçante de type noir de carbone et des additifs usuellement utilisés pour ces pneumatiques. L'amélioration de la résistance à l'usure de ce type de pneumatique est généralement réalisée par l'optimisation de la nature de ses constituants ou de ses sculptures. Par exemple, pour améliorer la résistance à l'usure de pneumatiques hors la route, la demande WO 2013/041400 propose d'intégrer une certaine quantité de polybutadiène à fort taux de vinyle dans une matrice isoprénique d'une composition pour bande de roulement.

Dans le domaine des pneumatiques pour véhicules roulant sur sol bitumineux tel que les véhicules de tourisme ou la plupart des véhicules poids lourds, une solution pour améliorer la résistance à l'usure a été proposée dans le brevet US 8,272,412 en intégrant, dans une composition élastomérique pour bande de roulement, des fibres de verre orientées à 45 degrés par rapport à la direction du roulement dans le plan circonférentiel.

Or, il est toujours nécessaire de fournir des solutions améliorées pour améliorer la résistance à l'usure des pneumatiques en général, et particulièrement pour les pneumatiques de véhicules poids lourds ou de génie civil.

Exposé de l'invention

En conséquence, la présente invention concerne une nouvelle formulation pour pneumatiques permettant d'améliorer significativement leur résistance à l'usure.

Elle a notamment pour objet une bande de roulement comprenant au moins une sculpture constituée d'une pluralité de couches parallèles et adjacentes entre elles, les couches étant orientées dans la sculpture parallèlement à un plan qui est (i) perpendiculaire au plan équatorial et (ii) orienté à un angle α exprimé en degrés par rapport au plan radial, l'angle α étant défini par la formule $\alpha = 45 \pm x$, où x est compris dans un domaine allant de 10 à 30 ; la pluralité de couches comprenant des couches

constituées par une composition à bas module de rigidité dont le module d'extension à 5% de déformation est compris dans un domaine allant de 2 à 8 MPa et des couches constituées par une composition à haut module de rigidité dont le module d'extension à 5% de déformation compris dans un domaine allant de 30 MPa à 50 GPa.

5

La bande de roulement conforme à l'invention, peut être soit à l'état cru (avant réticulation ou vulcanisation), soit à l'état cuit (après réticulation ou vulcanisation). Elle peut être sous la forme d'un produit semi-fini qui peut être utilisé dans un pneumatique ou sur une carcasse rechapée, ou alors être déjà disposée sur un bandage ou une

10

Définitions

Par l'expression "partie en poids pour cent parties en poids d'élastomère" (ou pce), il faut entendre au sens de la présente invention, la part, en masse pour cent parties en masse d'élastomère ou de caoutchouc.

15

Dans la présente, sauf indication expresse différente, tous les pourcentages (%) indiqués sont des pourcentages (%) en masse.

20 D'autre part, tout intervalle de valeurs désigné par l'expression "entre a et b" représente le domaine de valeurs allant de plus de a à moins de b (c'est-à-dire bornes a et b exclues) tandis que tout intervalle de valeurs désigné par l'expression "de a à b" signifie le domaine de valeurs allant de a jusqu'à b (c'est-à-dire incluant les bornes strictes a et b). Dans la présente, lorsqu'on désigne un intervalle de valeurs par l'expression "de a à b", on

25

Dans la présente, par l'expression composition "à base de", on entend une composition comportant le mélange et/ou le produit de réaction des différents constituants utilisés, certains de ces constituants de base étant susceptibles de, ou destinés à, réagir entre eux, au moins en partie, lors des différentes phases de fabrication de la composition, en particulier au cours de sa réticulation ou vulcanisation. A titre d'exemple une composition à base d'une matrice élastomérique et de soufre comprend la matrice élastomérique et le soufre avant cuisson, alors qu'après cuisson le soufre n'est plus détectable car ce dernier

30

35

Dans la présente, par l'expression "comprend majoritairement", on entend comprendre plus de 50%. Il peut s'agir par exemple de plus de 60%, 70%, 80%, 90%, voire 100%.

40 En un point déterminé d'un pneumatique, la direction circonférentielle, également appelée direction longitudinale, est la direction tangente d'un cercle centré sur l'axe de

rotation du pneumatique. Elle est parallèle à la direction de roulement du pneumatique. L'axe de rotation du pneumatique est l'axe autour duquel il tourne en utilisation normale. En un point déterminé d'un pneumatique, la direction transversale, également appelée direction latérale, est parallèle à l'axe de rotation du pneumatique. En un point déterminé

5 d'un pneumatique, la direction radiale est une direction coupant l'axe de rotation du pneumatique et perpendiculaire à celui-ci. On appelle « X » une direction parallèle à la direction circonférentiel, « Y » une direction parallèle à la direction transversale et « Z » une direction parallèle à la direction radiale. Les directions XYZ forment un repère orthogonal (Figure 1).

10

On entend par « F_x » la composante horizontale des efforts du sol sur le pneu dans la direction de roulage du pneumatique. On parle de couple moteur lorsqu'une force F_x positive est appliquée et de couple freineur lorsqu'une force F_x négative est appliquée. On entend par « F_y » la composante horizontale des efforts du sol sur le pneumatique

15 dans la direction transverse du pneumatique. On entend par « F_z » la composante verticale.

20

On entend par "taux de couplage" le rapport de la composante horizontale F_x des efforts du sol sur le pneumatique (ou du sol sur l'éprouvette) à la composante verticale F_z des efforts du sol sur le pneu (ou du sol sur l'éprouvette).

25

Un plan radial « YZ », également appelé plan méridien, est un plan qui contient l'axe de rotation du pneumatique. Un plan circonférentiel « XZ » est un plan perpendiculaire à l'axe de rotation du pneumatique. Le plan médian circonférentiel, également appelé plan équatorial, est un plan perpendiculaire à l'axe de rotation du pneu et qui divise le pneumatique en deux moitiés.

30

Dans la présente, on entend par "sculpture", un système plus ou moins complexe d'éléments en relief séparés les uns des autres par des découpures. Les éléments en relief d'une sculpture peuvent être soit des nervures soit des blocs.

35

Par "nervure" ("rib" en anglais), on entend un élément en relief formé sur une bande de roulement et s'étendant essentiellement selon la direction circonférentielle, cet élément étant délimité soit par deux découpures, soit par une découpe et un bord de la bande de roulement. Une nervure comprend deux parois latérales et une face de contact, cette dernière étant destinée à venir en contact avec la chaussée pendant le roulage. Cet élément s'étend dans la direction circonférentielle et fait le tour du pneumatique (légende (2) de Figure 1).

40

Par "bloc" ("tread block" en anglais), on entend un élément en relief formé sur une bande de roulement, cet élément étant délimité par une ou plusieurs découpures rectilignes,

incurvées ou circulaire, et éventuellement par un bord de la bande de roulement. Un bloc comprenant également une face de contact, cette dernière étant destinée à venir en contact avec la chaussée pendant le roulage (légende (3) de Figure 1).

- 5 Les découpures peuvent être soit des rainures, soit des incisions selon leur épaisseur, c'est-à-dire la distance entre les parois de matière qui les délimitent et leur fonctionnement lors du roulage. L'épaisseur d'une rainure est typiquement au moins égale à 1 mm, alors que l'épaisseur d'une incision est typiquement au plus égale à 1 mm. Lors du roulage du pneumatique, les parois de matière d'une rainure n'entrent pas en contact l'une avec l'autre, alors que les parois de matière d'une incision entrent en contact au moins en partie l'une avec l'autre.

- 15 Dans la présente, une "découpe" ("cut out" en anglais) désigne une rainure et correspond à l'espace délimité par des parois de matière se faisant face et distantes l'une de l'autre d'une distance non nulle, de préférence supérieure à 1 mm, par exemple supérieure à 2, 3, 4 ou 5 mm (légendes (4) et (5) de Figure 1).

- 20 Dans le cadre de l'invention, les produits carbonés mentionnés dans la description, peuvent être d'origine fossile ou biosourcés. Dans ce dernier cas, ils peuvent être, partiellement ou totalement, issus de la biomasse ou obtenus à partir de matières premières renouvelables issues de la biomasse.

Composition à bas module de rigidité

- 25 Selon l'invention, la bande de roulement est constituée une pluralité de couches comprenant des couches constituées par une composition à bas module de rigidité. On entend par « composition à bas module de rigidité », une composition dont le module d'extension à 5% de déformation est compris dans un domaine allant de 2 à 8 MPa. De préférence, le module d'extension à 5% de déformation de la composition à bas module de rigidité est compris dans un domaine allant de 3 à 6 MPa.

- 30 L'homme du métier peut mesurer la rigidité dont le module d'extension à 5% de déformation selon une méthode basée sur la norme NF ISO 37 de Décembre 2005 sur une éprouvette haltère de type 2 et mesurer le module d'élasticité à 5% de déformation à 23°C.

- 35 La composition à bas module de rigidité peut être, avantageusement, une composition élastomérique à base d'une matrice élastomérique, au moins une charge renforçante et au moins un système de réticulation.

- 40

Matrice élastomérique de la composition à bas module de rigidité

Selon l'invention, toute matrice élastomérique connue de l'homme du métier pour la fabrication de bande de roulement peut être utilisée dans la composition à bas module de rigidité de la sculpture de la bande de roulement selon l'invention.

5

Par exemple la matrice élastomérique peut comprendre un élastomère diénique, de préférence un élastomère choisi parmi les élastomères isopréniques, les copolymères butadiéniques et styréniques, les polybutadiènes et leurs mélanges.

10 Par élastomère "diénique", doit être compris de manière connue un (on entend un ou plusieurs) élastomère issu au moins en partie (*i.e.*, un homopolymère ou un copolymère) de monomères diènes (monomères porteurs de deux doubles liaisons carbone-carbone, conjuguées ou non).

15 Ces élastomères diéniques sont bien connus de l'homme de l'art et peuvent être classés dans deux catégories : "essentiellement insaturés" ou "essentiellement saturés". On entend en général par "essentiellement insaturé", un élastomère diénique issu au moins en partie de monomères diènes conjugués, ayant un taux de motifs ou unités d'origine diénique (diènes conjugués) qui est supérieur à 15% (% en moles) ; c'est ainsi que des
20 élastomères diéniques tels que les caoutchoucs butyle ou les copolymères de diènes et d'alpha-oléfines type EPDM n'entrent pas dans la définition précédente et peuvent être notamment qualifiés d'élastomères diéniques "essentiellement saturés" (taux de motifs d'origine diénique faible ou très faible, toujours inférieur à 15%). Dans la catégorie des élastomères diéniques "essentiellement insaturés", on entend en particulier par
25 élastomère diénique "fortement insaturé" un élastomère diénique ayant un taux de motifs d'origine diénique (diènes conjugués) qui est supérieur à 50%.

On entend plus particulièrement par élastomère diénique susceptible d'être utilisé dans les compositions conformes à l'invention :

30 a) tout homopolymère d'un monomère diène conjugué, notamment tout homopolymère obtenu par polymérisation d'un monomère diène conjugué ayant de 4 à 12 atomes de carbone;

b) tout copolymère obtenu par copolymérisation d'un ou plusieurs diènes conjugués entre eux ou avec un ou plusieurs composés vinyle aromatique ayant de 8 à 20 atomes de
35 carbone;

c) un copolymère ternaire obtenu par copolymérisation d'éthylène, d'une α -oléfine ayant 3 à 6 atomes de carbone avec un monomère diène non conjugué ayant de 6 à 12 atomes de carbone, comme par exemple les élastomères obtenus à partir d'éthylène, de propylène avec un monomère diène non conjugué du type précité tel que notamment
40 l'hexadiène-1,4, l'éthylidène norbornène, le dicyclopentadiène;

d) un copolymère d'isobutène et d'isoprène (caoutchouc butyle), ainsi que les versions halogénées, en particulier chlorées ou bromées, de ce type de copolymère.

5 Bien qu'elle s'applique à tout type d'élastomère diénique, l'homme du métier du pneumatique comprendra que la présente invention est de préférence mise en œuvre avec des élastomères diéniques essentiellement insaturés, en particulier du type (a) ou (b) ci-dessus. Dans le cas de copolymères du type (b), ceux-ci contiennent de 20 à 99% en poids d'unités diéniques et de 1 à 80% en poids d'unités vinylaromatique.

10 A titre de diènes conjugués conviennent notamment le butadiène-1,3, le 2-méthyl-1,3-butadiène, les 2,3-di(alkyle en C₁-C₅)-1,3-butadiènes tels que par exemple le 2,3-diméthyl-1,3-butadiène, le 2,3-diéthyl-1,3-butadiène, le 2-méthyl-3-éthyl-1,3-butadiène, le 2-méthyl-3-isopropyl-1,3-butadiène, un aryl-1,3-butadiène, le 1,3-pentadiène, le 2,4-hexadiène.

15 A titre de composés vinylaromatique conviennent par exemple le styrène, l'ortho-, méta-, para-méthylstyrène, le mélange commercial "vinyle-toluène", le para-tertiobutylstyrène, les méthoxystyrènes, les chlorostyrènes, le vinylmésitylène, le divinylbenzène, le vinylnaphthalène.

20 Par "élastomère isoprénique", on entend de manière connue un homopolymère ou un copolymère d'isoprène, en d'autres termes un élastomère diénique choisi dans le groupe constitué par le caoutchouc naturel (NR), les polyisoprènes de synthèse (IR), les différents copolymères d'isoprène et les mélanges de ces élastomères. Parmi les copolymères
25 d'isoprène, on citera en particulier les copolymères d'isobutène-isoprène (caoutchouc butyle - IIR), d'isoprène-styrène (SIR), d'isoprène-butadiène (BIR) ou d'isoprène-butadiène-styrène (SBIR). Cet élastomère isoprénique est de préférence du caoutchouc naturel ou un polyisoprène cis-1,4 de synthèse, de préférence du caoutchouc naturel. Par exemple, le polyisoprène de synthèse, peut être un polyisoprène ayant un taux (%
30 molaire) de liaisons cis-1,4 supérieur à 90%, plus préférentiellement encore supérieur à 98%.

Les élastomères utilisés dans le cadre de la présente invention peuvent être par exemple à blocs, statistiques, séquencés, microséquencés, et être préparés en dispersion ou en
35 solution ; ils peuvent être couplés et/ou étoilés et/ou fonctionnalisés avec un agent de couplage et/ou d'étoilage et/ou de fonctionnalisation.

L'élastomère isoprénique peut être choisi dans le groupe comprenant le caoutchouc naturel, le polyisoprène synthétique et leur mélange. De préférence, l'élastomère
40 isoprénique est du caoutchouc naturel.

Au sens de la présente invention on appelle copolymère d'unités butadiéniques et d'unités styréniques tout copolymère obtenu par copolymérisation d'un ou plusieurs butadiène(s) avec un ou plusieurs composés styréniques. A titre de composés styréniques conviennent par exemple le styrène, l'ortho-, méta-, para-méthylstyrène, le mélange commercial "vinyle-toluène", le para-tertiobutylstyrène, les méthoxystyrènes, les chlorostyrènes, le vinylmésitylène, le divinylbenzène, le vinylnaphtalène. Ces élastomères peuvent avoir toute microstructure qui est fonction des conditions de polymérisation utilisées, notamment de la présence ou non d'un agent modifiant et/ou randomisant et des quantités d'agent modifiant et/ou randomisant employées. Les élastomères peuvent être par exemple à blocs, statistiques, séquencés, microséquencés, et être préparés en dispersion ou en solution.

Le copolymère butadiénique et styrénique peut être, par exemple, du copolymère butadiène-styrène (SBR). Il peut s'agir par exemple d'un SBR préparé en émulsion ("ESBR") ou d'un SBR préparé en solution ("SSBR"). Les teneurs en liaisons vinyliques (-1,2), trans-1,4 et cis-1,4 de la partie butadiénique du SBR peuvent être variables. Par exemple, la teneur en vinyle peut être comprise entre 15% et 80% (% molaire), la teneur en liaisons trans-1,4 comprise entre 15% et 80% (% molaire).

L'élastomère diénique peut également comprendre majoritairement, voire exclusivement, un polybutadiène.

Conviennent les polybutadiènes et en particulier ceux ayant une teneur (% molaire) en unités -1,2 comprise entre 4% et 80% ou ceux ayant une teneur (% molaire) en cis-1,4 supérieure à 80%, les polyisoprènes, les copolymères de butadiène-styrène et en particulier ceux ayant une Tg (température de transition vitreuse (Tg, mesurée selon ASTM D3418) comprise entre 0°C et -70°C et plus particulièrement entre -10°C et -60°C, une teneur en styrène comprise entre 5% et 60% en poids et plus particulièrement entre 20% et 50%, une teneur (% molaire) en liaisons -1,2 de la partie butadiénique comprise entre 4% et 75%, une teneur (% molaire) en liaisons trans-1,4 comprise entre 10% et 80%, les copolymères de butadiène-isoprène et notamment ceux ayant une teneur en isoprène comprise entre 5% et 90% en poids et une Tg de -40°C à -80°C, les copolymères isoprène-styrène et notamment ceux ayant une teneur en styrène comprise entre 5% et 50% en poids et une Tg comprise entre -5°C et -50°C. Dans le cas des copolymères de butadiène-styrène-isoprène conviennent notamment ceux ayant une teneur en styrène comprise entre 5% et 50% en poids et plus particulièrement comprise entre 10% et 40%, une teneur en isoprène comprise entre 15% et 60% en poids et plus particulièrement entre 20% et 50%, une teneur en butadiène comprise entre 5% et 50% en poids et plus particulièrement comprise entre 20% et 40%, une teneur (% molaire) en unités -1,2 de la partie butadiénique comprise entre 4% et 85%, une teneur (% molaire) en unités trans-1,4 de la partie butadiénique comprise entre 6% et 80%, une teneur (% molaire) en unités

-1,2 plus -3,4 de la partie isoprénique comprise entre 5% et 70% et une teneur (% molaire) en unités trans -1,4 de la partie isoprénique comprise entre 10% et 50%, et plus généralement tout copolymère butadiène-styrène-isoprène ayant une Tg comprise entre - 5°C et - 70°C.

5

Système de réticulation de la composition à bas module de rigidité

Le système de réticulation de la composition à bas module de rigidité peut être à base de soufre et/ou de donneurs de soufre et/ou de peroxyde et/ou de bismaléimides. Le système de réticulation est préférentiellement un système de vulcanisation, c'est-à-dire un système à base de soufre (et/ou d'un agent donneur de soufre) et d'un accélérateur primaire de vulcanisation. A ce système de vulcanisation de base viennent s'ajouter, incorporés au cours de la première phase non-productive et/ou au cours de la phase productive telles que décrites ultérieurement, divers accélérateurs secondaires ou activateurs de vulcanisation connus tels qu'oxyde de zinc, acide stéarique ou composés équivalents, dérivés guanidiques (en particulier diphénylguanidine), ou encore des retardateurs de vulcanisation connus.

10

15

20

Le système de réticulation, de préférence le soufre, peut être utilisé à un taux préférentiel compris entre 0,1 et 5 pce, en particulier entre 0,1 et 2 pce, de préférence encore entre 0,5 et 1,5 pce.

Charge renforçante de la composition à bas module de rigidité

La charge renforçante est connue pour ses capacités à renforcer une composition de caoutchouc utilisable pour la fabrication de pneumatiques.

25

Selon l'invention, la charge renforçante de la composition à bas module de rigidité peut comprendre du noir de carbone, une charge organique autre que le noir de carbone, une charge inorganique ou le mélange d'au moins deux de ces charges. Préférentiellement, la charge renforçante peut comprendre majoritairement, voire exclusivement, du noir de carbone. La charge renforçante peut également comprendre majoritairement, voire exclusivement, une charge inorganique renforçante.

30

35

Une telle charge renforçante consiste typiquement en des nanoparticules dont la taille moyenne (en masse) est inférieure au micromètre, généralement inférieure à 500 nm, le plus souvent comprise entre 20 et 200 nm, en particulier et plus préférentiellement comprise entre 20 et 150 nm.

40

Le noir de carbone présente une surface spécifique BET de préférence d'au moins 90 m²/g, de manière plus préférentielle d'au moins 100 m²/g. A ce titre conviennent les noirs conventionnellement utilisés dans les pneumatiques ou leurs bandes de roulement (noirs dits de grade pneumatique). Parmi ces derniers, on citera plus particulièrement les

noirs de carbone renforçants des séries 100, 200, 300, ou les noirs de série 500, 600 ou 700 (grades ASTM), comme par exemple les noirs N115, N134, N234, N326, N330, N339, N347, N375, N550, N683, N772). Ces noirs de carbone peuvent être utilisés à l'état isolé, tels que disponibles commercialement, ou sous tout autre forme, par exemple comme support de certains des additifs de caoutchouterie utilisés. Les noirs de carbone pourraient être par exemple déjà incorporés à l'élastomère diénique, notamment isoprénique sous la forme d'un masterbatch (voir par exemple demandes WO 97/36724 ou WO 99/16600). La surface spécifique BET des noirs de carbone est mesurée selon la norme D6556-10 [méthode multipoints (au minimum 5 points) – gaz : azote – domaine de pression relative P/P0 : 0.1 à 0.3].

Comme exemples de charges organiques autres que des noirs de carbone, on peut citer les charges organiques de polyvinyle fonctionnalisées telles que décrites dans les demandes WO 2006/069792, WO 2006/069793, WO 2008/003434 et WO 2008/003435.

Par "charge inorganique renforçante", doit être entendu ici toute charge inorganique ou minérale, quelles que soient sa couleur et son origine (naturelle ou de synthèse), encore appelée charge "blanche", charge "claire" ou même charge "non noire" par opposition au noir de carbone, capable de renforcer à elle seule, sans autre moyen qu'un agent de couplage intermédiaire, une composition de caoutchouc destinée à la fabrication de bandages pneumatiques, en d'autres termes apte à remplacer, dans sa fonction de renforcement, un noir de carbone conventionnel de grade pneumatique ; une telle charge se caractérise généralement, de manière connue, par la présence de groupes hydroxyle (-OH) à sa surface.

Comme charges inorganiques renforçantes conviennent notamment des charges minérales du type siliceuse, préférentiellement la silice (SiO₂). La silice utilisée peut être toute silice renforçante connue de l'homme du métier, notamment toute silice précipitée ou pyrogénée présentant une surface BET ainsi qu'une surface spécifique CTAB toutes deux inférieures à 450 m²/g, de préférence de 30 à 400 m²/g, notamment entre 60 et 300 m²/g. A titres de silices précipitées hautement dispersibles (dites "HDS"), on citera par exemple les silices « Ultrasil » 7000 et « Ultrasil » 7005 de la société Degussa, les silices « Zeosil » 1165MP, 1135MP et 1115MP de la société Rhodia, la silice « Hi-Sil » EZ150G de la société PPG, les silices « Zeopol » 8715, 8745 et 8755 de la Société Huber, les silices à haute surface spécifique telles que décrites dans la demande WO 03/016387.

Dans le présent exposé, en ce qui concerne la silice, la surface spécifique BET est déterminée de manière connue par adsorption de gaz à l'aide de la méthode de Brunauer-Emmett-Teller décrite dans *"The Journal of the American Chemical Society"* Vol. 60, page 309, février 1938, plus précisément selon la norme française NF ISO 9277 de décembre 1996 (méthode volumétrique multipoints (5 points) - gaz: azote - dégazage:

1 heure à 160°C - domaine de pression relative p/p_0 : 0.05 à 0.17). La surface spécifique CTAB est la surface externe déterminée selon la norme française NF T 45-007 de novembre 1987 (méthode B).

- 5 Convienent également comme charges inorganiques renforçantes les charges minérales du type alumineuse, en particulier de l'alumine (Al_2O_3) ou des (oxyde)hydroxydes d'aluminium, ou encore des oxydes de titane renforçants, par exemple décrits dans US 6,610,261 et US 6,747,087.
- 10 L'état physique sous lequel se présente la charge inorganique renforçante est indifférent, que ce soit sous forme de poudre, de microperles, de granulés, de billes ou toute autre forme densifiée appropriée. Bien entendu on entend également par charge inorganique renforçante des mélanges de différentes charges inorganiques renforçantes, en particulier de charges siliceuses et/ou alumineuses hautement dispersibles telles que
- 15 décrites ci-dessus.

Pour coupler la charge inorganique renforçante à l'élastomère diénique, on utilise de manière bien connue un agent de couplage (ou agent de liaison) au moins bifonctionnel destiné à assurer une connexion suffisante, de nature chimique et/ou physique, entre la

20 charge inorganique (surface de ses particules) et l'élastomère diénique. On utilise en particulier des organosilanes ou des polyorganosiloxanes au moins bifonctionnels.

La teneur en agent de couplage est avantageusement inférieure à 12 pce, étant entendu qu'il est en général souhaitable d'en utiliser le moins possible. Typiquement le taux

25 d'agent de couplage représente de 0,5% à 15% en poids par rapport à la quantité de charge inorganique. Son taux est préférentiellement compris entre 0,5 et 9 pce, plus préférentiellement compris dans un domaine allant de 3 à 9 pce. Ce taux est aisément ajusté par l'homme du métier selon le taux de charge inorganique utilisé dans la composition.

30 Selon l'invention, le taux de charge renforçante peut être compris dans un domaine allant de 10 à 160, de préférence de 10 à 150 pce, de préférence de 10 à 90 pce, de préférence de 20 à 70 pce, de préférence de 25 à 60 pce.

35 De manière avantageuse, le taux de charge renforçante est compris dans un domaine allant de 10 à 30% de fraction volumique, de préférence de 15 à 25% de fraction volumique, par rapport au volume de la composition à bas module de rigidité.

Additifs divers de la composition à bas module de rigidité

40 La composition à bas module de rigidité peut comporter également tout ou partie des additifs usuels habituellement utilisés dans les compositions d'élastomères destinées à

constituer des bandes de roulement, comme par exemple des plastifiants, des fibres, des pigments, des agents de protection tels que cires anti-ozone, anti-ozonants chimiques, anti-oxydants, des agents antifatigue, bien connus de l'homme du métier.

- 5 Avantageusement, afin de ne pas élever son module d'extension à 5% de déformation, la composition à bas module de rigidité ne comprend pas de résine renforçante et/ou de fibre renforçante.

Composition à haut module de rigidité

- 10 Selon l'invention, la bande de roulement est constituée une pluralité de couches comprenant des couches constituées par une composition à haut module de rigidité. On entend par « composition à haut module de rigidité », une composition dont le module d'extension à 5% de déformation est compris dans un domaine allant de 30 MPa à 50 GPa. De préférence, le module d'extension à 5% de déformation de la composition à haut
15 module de rigidité est compris dans un domaine allant de 30 à 300 MPa, de préférence de 40 à 200 MPa.

- Comme indiqué ci-dessus, l'homme du métier peut mesurer la rigidité dont le module d'extension à 5% de déformation selon une méthode basée sur la norme NF ISO 37 de
20 Décembre 2005 sur une éprouvette haltère de type 2 et mesurer le module d'élasticité à 5% de déformation à 23°C.

- L'homme du métier dispose de nombreux moyen pour obtenir une composition à haut module de rigidité. Par exemple, l'homme du métier peut utiliser des taux élevés de
25 charge renforçante et/ou de système de réticulation et/ou des fibres renforçantes, par exemple dans une matrice élastomérique. Il peut également, alternativement ou de façon complémentaire, utiliser des matériaux thermoplastiques ou des élastomères thermoplastique.

- 30 Ainsi, selon un premier mode de réalisation de l'invention, la composition à haut module de rigidité peut être une composition élastomérique à base d'une matrice élastomérique, au moins une charge renforçante, au moins un système de réticulation. La composition à haut module de rigidité peut également être un thermoplastique ou comprendre un élastomère thermoplastique.

- 35 Lorsque la composition à haut module de rigidité est une composition élastomérique à base d'une matrice élastomérique, au moins une charge renforçante, au moins un système de réticulation, la matrice élastomérique, la charge renforçante et le système de réticulation peuvent être identiques à ceux de la composition à bas module de rigidité. En
40 particulier :

- la matrice élastomérique de la composition à haut module de rigidité peut comprendre un élastomère diénique, de préférence un élastomère choisi parmi les élastomères isopréniques, les copolymères butadiéniques et styréniques, les polybutadiènes et leurs mélanges,
- 5 - la charge renforçante de la composition à haut module de rigidité peut comprendre du noir de carbone et/ou une charge inorganique renforçante, de préférence la charge renforçante comprend majoritairement du noir de carbone,
- le système de réticulation de la composition à haut module de rigidité peut
10 comprendre un agent de réticulation choisi dans le groupe constitué par le soufre, un donneur de soufre, un peroxyde, un bismaléimide et le mélange d'au moins deux de ces agents de réticulation.

Le taux de charge renforçante de la composition à haut module de rigidité peut généralement être compris dans un domaine allant de 10 à 160 pce, de préférence de 10
15 à 150 pce, de préférence de 10 à 90 pce, de préférence de 20 à 70 pce, de préférence de 25 à 60 pce.

De manière avantageuse, le taux de charge renforçante de la composition à haut module de rigidité est compris dans un domaine allant de 1 à 50 % de fraction volumique, de
20 préférence de 10 à 40%, de préférence de 15 à 25% de fraction volumique, par rapport au volume de la composition à haut module de rigidité.

Si l'homme du métier souhaite obtenir un module d'extension à 5% de déformation supérieur à 30 MPa grâce au taux de charge renforçante, le taux de charge renforçante
25 peut être compris dans un domaine allant de 25 à 50 % de fraction volumique, de préférence de 40 à 50 % de fraction volumique, par rapport au volume de la composition à haut module de rigidité.

Par ailleurs, le système de réticulation de la composition à haut module de rigidité, de
30 préférence le soufre, peut être utilisé à un taux préférentiel compris entre 0,1 et 40 pce, de préférence entre 0,1 et 20 pce, en particulier entre 0,1 et 10 pce, de préférence encore entre 0,5 et 10 pce.

Si l'homme du métier souhaite obtenir un module d'extension à 5% de déformation supérieur à 30 MPa grâce au taux de système de réticulation, le taux de système de
35 réticulation peut être compris entre 20 et 40 pce, de préférence entre 30 et 40 pce.

Alternativement, ou de manière complémentaire, selon ce premier mode de réalisation de l'invention, la composition à haut module de rigidité peut comprendre une résine
40 renforçante.

La résine renforçante peut être par exemple une résine choisie parmi les résines polyépoxydes, résines mélamine-formaldéhyde, résines phénol-formaldéhyde, résines urée-formaldéhyde, résines polyuréthanes, résines polyesters insaturés, résines vinyl esters, résines polyimides, résines diallyle phthalates, résines allyle diglycole carbonates, résines polyorganosiloxanes, de préférence parmi les résines formophénoliques ou les résines époxy, ces dernières pouvant notamment être utilisées comme primaire d'adhésion.

De préférence, la résine renforçante peut être une résine choisie parmi la résine mélamine-formaldéhyde, phénol-formaldéhyde ou urée-formaldéhyde et encore plus préférentiellement la résine phénol-formaldéhyde.

A titre d'exemple de résine disponible dans le commerce, on peut citer par exemple la résine phénol-formaldéhyde ALNOVOL PN-320 de Allnex, 1070 Anderlecht – Brussels BELGIUM ou la résine phénol-formaldéhyde Technic RR-110 de TECHNO WAXCHEM PVT LTD Kolkata 700046, WB, India.

Avantageusement, la résine renforçante peut contenir un activateur qui permet la réticulation de la résine. Par Exemple, l'activateur peut être choisi parmi l'Hexaméthylènetétramine (HMTA) avec notamment le Technic-SCH de de TECHNO WAXCHEM PVT. LTD. Kolkata 700046, WB, India, ou l'Hexa(méthoxyméthyl)mélamine (H3M) avec notamment le Cyrez CRA100 de Allnex, 1070 Anderlecht – Brussels BELGIUM.

Selon un deuxième mode de réalisation de l'invention, la composition à haut module de rigidité peut être un thermoplastique.

Le thermoplastique présente préférentiellement une température de fusion ou de ramollissement supérieure à 100°C, préférentiellement supérieure à 140°C et très préférentiellement comprise entre 170 et 300°C. La température de ramollissement peut être mesurée, par exemple, selon la méthode décrite dans la norme ASTM D 1525.

Préférentiellement, le thermoplastique est choisi dans le groupe constitué par les polyoléfines, les polymères vinyliques chlorés, les polystyrènes, les polyamides, les polyesters, les copolymères d'éthylène et d'alcool vinylique (EVOH), les polyacrylates, les polyacétals, et leurs mélanges.

De préférence, les polyoléfines sont choisies parmi les polyéthylènes et les polypropylènes.

De préférence, les polymères vinyliques chlorés sont choisis parmi les polychlorures de vinyle (PVC), les polychlorures de vinylidène (PVDC), les polychlorures de vinyle surchlorés (PVCC) et leurs mélanges.

- 5 De préférence, les polyesters sont choisis parmi les polyéthylènes téréphtalates (PET), les polybutylènes téréphtalates (PBT), les polycarbonates (PC) et les polyéthylènes naphtalates (PEN), et leurs mélanges.

- 10 Les polyamides peuvent être choisis parmi les polyamides aliphatiques et de préférence parmi les polyamides 6, les polyamides 6-6, les polyamides 11 et leurs mélanges.

Un exemple de polyacrylate est le polyméthylméthacrylate (PMMA) ; un exemple de polyacétal est le polyoxyde de méthylène (POM).

- 15 Les thermoplastiques sont disponibles commercialement, vendus par exemple en ce qui concerne les polyamides, le PA11 RILSAN de Arkema, le PA12 GRILAMID de EMS-Grimory, le PA6 TROGAMID de Evonik, le PA12 ORGASOL de Arkema. Ils ont par exemple été décrits, ainsi que leur synthèse, dans les documents Techniques de l'ingénieur, réf A3360 et 0702 polyamides PA, référence issue de « matériaux plastiques et composites » de B.
20 Guerin.

- Avantageusement, selon l'invention, le thermoplastique peut être adhésivé, c'est-à-dire traité de manière à améliorer leur adhésion aux couches comprenant une composition à bas module de rigidité. Par exemples, le thermoplastique peuvent être adhésivés avec
25 une colle choisie parmi les colles époxy suivie d'un traitement au latex résorcinol-formaldéhyde (RFL) liquide et les colles à base de formaldéhyde, de préférences les colles RFL. A titre d'exemple de colle RFL utilisable pour adhésiver le thermoplastique, on peut citer celles décrites dans la demande WO 2001/057116.

- 30 Selon un troisième mode de réalisation de l'invention, la composition à haut module de rigidité peut comprendre un élastomère thermoplastique (TPE).

- Selon ce mode de réalisation, la composition à haut module de rigidité comporte au moins, à titre de seul élastomère ou d'élastomère majoritaire en poids, un élastomère
35 thermoplastique.

- Les TPE ont une structure intermédiaire entre polymères thermoplastiques et élastomères. Ils sont constitués de séquences rigides thermoplastiques reliées par des séquences souples élastomères, par exemple polybutadiène, polyisoprène,
40 poly(éthylène/butylène), ou encore polyisobutylène. Ce sont souvent des élastomères triblocs avec deux segments rigides reliés par un segment souple. Les segments rigides et

souples peuvent être disposés linéairement, en étoile ou branchés. Typiquement, chacun de ces segments ou blocs contient au minimum plus de 5, généralement plus de 10 unités de base (par exemple unités styrène et unités isoprène pour un copolymère triblocs styrène/ isoprène/ styrène).

5

L'élastomère thermoplastique peut être choisi dans le groupe constitué par les élastomères thermoplastiques styréniques (TPS), les copolymères bloc éther-amide (PEBA), les copolyesters (COPE), les élastomères thermoplastiques polyuréthanes (TPU), les thermoplastiques vulcanisés (TPV), les polyoléfines thermoplastiques (TPO) et le mélange de ces TPE. Avantagusement, l'élastomère thermoplastique est un élastomère TPS.

10

A titre d'exemple d'élastomère TPS, on peut citer les copolymères suivants : Styrène-Butadiène-Styrène (SBS), Styrène-Isoprène-Styrène (SIS), Styrène-éthylène/butylène-Styrène (SEBS), Styrène-Isoprène/butylène Styrène (SIBS), Styrène- éthylène/propylène-Styrène (SEPS) et ii) de moins de 90% en poids de préférence de 0% à 80 % d'un ou plusieurs copolymères di-blocs de type styrène-butadiène (SB) ou Styrène-Isoprène (SI) ou Styrène-éthylène/butylène (SEB) ou Styrène-Isoprène/butylène (SIB) ou Styrène-éthylène/propylène (SEP).

20

On préfère que la température de transition vitreuse (T_g , mesurée selon ASTM D3418) du bloc élastomérique de l'élastomère TPE soit inférieure à -20°C , plus préférentiellement inférieure à -40°C .

25

La masse moléculaire moyenne en nombre (notée M_n) de l'élastomère TPE est préférentiellement comprise entre 30 000 et 500 000 g/mol, plus préférentiellement comprise entre 40 000 et 400 000 g/mol. La masse moléculaire moyenne en nombre (M_n) de l'élastomère TPS est déterminée de manière connue, par chromatographie d'exclusion stérique (SEC). L'échantillon est préalablement solubilisé dans du tétrahydrofurane à une concentration d'environ 1 g/l ; puis la solution est filtrée sur filtre de porosité $0,45\ \mu\text{m}$ avant injection. L'appareillage utilisé est une chaîne chromatographique « WATERS alliance ». Le solvant d'élution est le tétrahydrofurane, le débit de 0,7 ml/min, la température du système de 35°C et la durée d'analyse de 90 min. On utilise un jeu de quatre colonnes WATERS en série, de dénominations commerciales « STYRAGEL » (« HMW7 », « HMW6E » et deux « HT6E »). Le volume injecté de la solution de l'échantillon de polymère est de 100 μl . Le détecteur est un réfractomètre différentiel « WATERS 2410 » et son logiciel associé d'exploitation des données chromatographiques est le système « WATERS MILLENIUM ». Les masses molaires moyennes calculées sont relatives à une courbe d'étalonnage réalisée avec des étalons de polystyrène.

30

35

L'indice de polydispersité I_p (rappel : $I_p = M_w/M_n$ avec M_w masse moléculaire moyenne en poids) de l'élastomère TPS est de préférence inférieur à 3 ; plus préférentiellement I_p est inférieur à 2.

- 5 Selon le troisième mode de réalisation de la présente invention, l'élastomère TPE peut être le seul élastomère la composition à haut module de rigidité ou bien être associés à d'autres élastomères.

10 Si d'éventuels autres élastomères sont utilisés dans la composition à haut module de rigidité, l'élastomère TPE constitue l'élastomère majoritaire en poids. De tels élastomères complémentaires, minoritaires en poids, pourraient être par exemple des élastomères diéniques tels que du caoutchouc naturel ou un polyisoprène synthétique, un caoutchouc butyl ou des élastomères thermoplastiques autres que styréniques, dans la limite de la compatibilité de leurs microstructures. De préférence, l'élastomère différent de
15 l'élastomère thermoplastique est choisi dans le groupe constitué par les polybutadiènes, les polyisoprènes de synthèse, le caoutchouc naturel, les copolymères de butadiène, les copolymères d'isoprène et les mélanges de ces élastomères.

20 Ainsi, la composition à haut module de rigidité peut comprendre de 50 à moins de 100 pce, de préférence de 70 à moins de 100 pce, de préférence de 80 à moins de 100 pce, de préférence de 90 à moins de 100 pce, de TPE. Dans ce cas, la composition à haut module de rigidité comprend de plus de 0 à 50 pce, de préférence de plus de 0 à 30 pce, de préférence de plus de 0 à 20 pce, de préférence de 0 à 10 pce d'un autre élastomère différent du TPE.

25 Toutefois, selon un mode de réalisation particulier, l'élastomère thermoplastique est le seul élastomère thermoplastique, avantageusement le seul élastomère, présent dans la composition à haut module de rigidité. En d'autres termes, de manière avantageuse, la composition à haut module de rigidité comprend exclusivement, c'est-à-dire 100 pce,
30 de TPE.

Les élastomères TPE peuvent être mis en œuvre de façon classique, par extrusion ou moulage, par exemple à partir d'une matière première disponible sous la forme de billes ou de granulés.

35 Les élastomères TPE sont disponibles commercialement, vendus par exemple en ce qui concerne les SIBS par la société KANEKA sous la dénomination « SIBSTAR » (*e.g.* « Sibstar 102T », « Sibstar 103T » ou « Sibstar 073T »). Ils ont par exemple été décrits, ainsi que leur synthèse, dans les documents brevet EP 731 112, US 4 946 899, US 5 260 383. Ils ont
40 été développés tout d'abord pour des applications biomédicales puis décrits dans diverses applications propres TPE, notamment aux élastomères TPS, aussi variées que

matériel médical, pièces pour automobile ou pour électroménager, gaines pour fils électriques, pièces d'étanchéité ou élastiques (voir par exemple EP 1 431 343, EP 1 561 783, EP 1 566 405, WO 2005/103146).

- 5 Selon ce troisième mode de réalisation de la présente invention, la composition à haut module de rigidité peut comprendre une charge renforçante et un système de réticulation. De préférence, la charge renforçante et/ou le système de réticulation de la composition à haut module de rigidité selon le troisième mode de réalisation sont identiques à ceux du premier mode de réalisation de la présente invention.

10

Sculpture de la bande de roulement

La bande de roulement selon la présente invention comprend une sculpture.

15

Selon l'invention, la sculpture de la bande de roulement est constituée d'une pluralité de couches parallèles et adjacentes entre elles, les couches étant orientées dans la sculpture parallèlement à un plan qui est (i) perpendiculaire au plan équatorial et (ii) orienté à un angle α exprimé en degrés par rapport au plan radial, l'angle α étant défini par la formule $\alpha = 45 \pm x$, où x est compris dans un domaine allant de 10 à 30. En d'autres termes, les couches sont orientées dans la sculpture parallèlement à un plan qui est (i)

20 perpendiculaire au plan équatorial et (ii) orienté à un angle α exprimé en degrés par rapport au plan radial, l'angle α étant compris dans un domaine allant de 15 à 35 degrés ou de 55 à 75 degrés.

20

25

Sauf indications contraires, l'orientation des couches dans la bande de roulement selon l'invention est exprimée par rapport à une bande de roulement disposée sur un pneumatique. L'homme du métier saura aisément convertir l'orientation des couches lorsque la bande de roulement est disposée à plat, par exemple sous la forme d'un semi-fini. Dans l'hypothèse où la bande de roulement serait disposée à plat, elle pourrait être définie selon des directions parallèles à sa longueur, sa largeur et son épaisseur qui

30 correspondraient respectivement aux directions circonférentielle « X », transversale « Y » et radiale « Z ». Le plan circonférentiel serait alors un plan défini par la longueur et l'épaisseur de la bande de roulement, le plan radial serait un plan défini par la largeur et l'épaisseur de la bande de roulement.

30

35

L'homme du métier peut mesurer l'angle des couches au sein de la bande de roulement en ôtant une partie de la bande de roulement, préférentiellement en ôtant la moitié de la largeur d'une nervure suivant un plan parallèle au plan XoZ, de manière à faire apparaître une interface contenant les couches, et en prélevant une éprouvette matériau par une découpe de la bande de roulement selon la Figure 2 et en établissant l'histogramme

40 d'orientation des couches dans le plan XOZ par rapport à la direction Z par microscopie optique en réflexion.

40

Selon l'invention, les couches peuvent être orientées la sculpture parallèlement à un plan qui est (i) perpendiculaire au plan équatorial et (ii) orienté à un angle α exprimé en degrés par rapport au plan radial, l'angle α étant défini par la formule $\alpha = 45 \pm x$, où x est
 5 compris dans un domaine allant de 12,5 à 27,5 (c'est-à-dire de 17,5 à 35,5 degrés ou de 57,5 à 72,5 degrés), de préférence de 15 à 25 (c'est-à-dire de 20 à 30 degrés ou de 60 à 70 degrés), de préférence x est égal à 20 (c'est-à-dire de 25 degrés ou de 65 degrés). Sauf indications contraires, l'angle α est exprimé en valeur absolue.

10 L'homme du métier comprend bien que lorsque l'on parle de couches orientées selon un même angle α , il peut s'agir de couches ayant sensiblement le même angle α , c'est-à-dire que les couches sont orientées selon un angle α avec un faible écart type, par exemple un écart type de 3 degrés, voire moins, sur au moins 80% de la surface du plan XoZ.

15 Quel que soit la valeur de l'angle α dans le domaine de $\alpha = 45 \pm 10$ à 30 degrés, cette orientation confère au matériau composite la capacité de transférer une portion de la composante Fz des efforts du sol sur le pneumatique vers la composante Fx, c'est-à-dire de la composante verticale vers la composante horizontale dans la direction du roulage
 20 du pneumatique. Ce taux de couplage est particulièrement avantageux pour améliorer la résistance à l'usure de pneumatiques pour les véhicules de génie civil, notamment dans leurs conditions d'utilisation spécifiques.

En fonction de l'angle des couches au sein de la sculpture, le taux de couplage n'est pas le même. Ainsi, lorsque l'angle α est compris entre 15 et 35 degrés (c'est-à-dire $\alpha = 45 -$
 25 10 à 30), la sculpture transformera la composante Fz en une composante Fx positive. Il peut être noté que plus l'angle α est proche de 25 degrés, plus le taux de couplage est important. Ce mode de réalisation est particulièrement avantageux pour améliorer la résistance à l'usure de pneumatiques de véhicules portant des charges lourdes en montée.

30 Par ailleurs, lorsque l'angle α est compris entre 55 et 75 degrés (c'est-à-dire $\alpha = 45 +$ de 10 à 30), la sculpture transformera la composante Fz en une composante Fx négative. Plus l'angle α est proche de 65 degrés, plus le taux de couplage est important. Ce mode de réalisation est particulièrement avantageux pour améliorer la résistance à l'usure de
 35 pneumatiques de véhicules roulant à vide en descente.

Lorsque l'angle α est compris entre 35 et 55 degrés, le taux de couplage devient trop faible, voire nul autour de 45 degrés, pour conférer la propriété désirée à la sculpture de la bande de roulement selon l'invention. Il en va de même lorsque l'angle α est inférieur à
 40 15 degrés ou supérieur à 75 degrés.

Selon l'invention, la pluralité de couches comprend des couches constituées par une composition à bas module de rigidité et des couches constituées par une composition à haut module de rigidité.

5

Plus particulièrement, la pluralité de couches comprend au moins un (c'est-à-dire un ou plusieurs) groupe de couches constituées par une composition à bas module de rigidité et au moins un (c'est-à-dire un ou plusieurs) groupe couches constituées par une composition à haut module de rigidité.

10

Dans la présente, on entend par « un groupe de couches », une ou plusieurs couches identiques entre elles. En d'autres termes, lorsque la pluralité de couches comprend plusieurs groupes de couches différentes, ces couches peuvent différer les unes des autres par la nature de la matrice élastomérique, du thermoplastique ou de l'élastomère thermoplastique, la nature ou la concentration en charge renforçante, la nature ou la concentration en résine renforçante, le système de réticulation, les additifs, etc.

15

Ainsi, la pluralité de couches est constituée par au moins deux groupes de couches différentes, voire plus, par exemple trois, quatre ou cinq groupes de couches différentes les unes des autres. Avantageusement, la pluralité de couche est constituée de deux groupes de couches différentes, c'est-à-dire par un groupe de couche constituées par une composition à bas module de rigidité et un groupe de couches constituées par une composition à haut module de rigidité, de préférence disposées alternativement.

20

Toute répartition de couches constituées par une composition à bas module de rigidité et de couches constituées par une composition à haut module de rigidité peut être mise en œuvre. Par exemple les couches peuvent être réparties alternativement ou non. Par exemple, lorsque la pluralité de couches comprend deux groupes de couches différentes (par exemple dénommées A et B respectivement), la répartition peut suivre la formule suivante :

30

$$((A)_{nA}(B)_{nB}),$$

dans laquelle :

- « nA » et « nB » représentent indépendamment l'un de l'autre un entier choisi de 1 à 10, de préférence de 1 à 5, de préférence de 1 à 2, de préférence 1.

35

Lorsque le matériau composite comprend plus de deux groupes de couches différentes (par exemple dénommées A, B, ..., X respectivement), la répartition peut suivre la formule suivante :

$$((A)_{nA}(B)_{nB}(\dots)_{n\dots}(X)_{nX}),$$

40

dans laquelle :

- « nA », « nB », « n... » et « nX » représentent indépendamment l'un de l'autre un entier choisi de 1 à 10, de préférence de 1 à 5, de préférence de 1 à 2, de préférence 1.

5 Le nombre total de couches au sein de la sculpture est limité par la longueur de la bande de roulement. L'homme du métier est à même de déterminer ce nombre en fonction de l'épaisseur des couches et de leur orientation au sein de la sculpture.

10 De préférence, selon l'invention, la sculpture de la bande de roulement est constituée par un groupe de couches constituées par une composition à bas module de rigidité et un groupe de couches constituées d'une composition à haut module de rigidité réparties alternativement au sein de la sculpture de la bande de roulement (Figure 2).

15 De manière avantageuse, la composition à bas module de rigidité possède une rigidité à l'extension qui est au moins 5 fois inférieure, de préférence au moins 10 fois inférieure, à celle de la composition à haut module de rigidité. L'homme du métier est à même de déterminer comment mesure la rigidité à l'extension des compositions à bas et haut module de rigidité. Par exemple il peut utiliser une méthode basée sur la norme NF ISO 20 37 de Décembre 2005 sur une éprouvette haltère de type 2 et mesurer le module d'élasticité à 5% de déformation à 23°C.

Avantageusement, le module E_H , et la fraction volumique ϕ_H de la composition à haut module et le module E_B et la fraction volumique ϕ_B (ou $1 - \phi_H$) de la composition à bas module sont définis de manière à ce que la formule

25
$$\frac{\alpha}{[\phi_H + (1 - \phi_H)\alpha][\phi_H\alpha + (1 - \phi_H)]}, \text{ où } \alpha = E_H / E_M$$

soit inférieure à 0,67, de préférence comprise entre 0,01 et 0,5.

30 L'épaisseur de chacune des couches constituées par une composition à bas module de rigidité peut être comprise dans un domaine allant de 1 à 20 mm, de préférence de 1 à 10 mm.

L'épaisseur de chacune des couches constituées par une composition à haut module de rigidité peut être comprise dans un domaine allant de 0,1 à 20 mm, de préférence de 0,1 à 10 mm. Préférentiellement, lorsque la composition à haut module de rigidité est un thermoplastique, l'épaisseur de chacune des couches peut être comprise dans un 35 domaine allant de 0,1 à 5 mm, de préférence de 0,1 à 2 mm. Lorsque la composition à haut module de rigidité comprend une matrice élastomérique, voire un élastomère thermoplastique, l'épaisseur de chacune des couches peut être comprise dans un domaine allant de 0,1 à 20 mm, de préférence de 0,1 à 10 mm.

40

De manière avantageuse, le volume de couches de la composition à bas module de rigidité peut représenter de 50 à 95% en volume, de préférence de 60 à 95% en volume, par rapport au volume de la sculpture de la bande de roulement. Ainsi, le volume de couches de la composition à haut module de rigidité peut représenter respectivement de
5 5 à 50% en volume, de préférence de 5 à 40 % en volume, par rapport au volume de la sculpture de la bande de roulement.

Pneumatiques

La présente invention peut être appliquée à tout type de pneumatique. Ainsi, la présente
10 invention a également pour objet un pneumatique comprenant une bande de roulement selon l'invention.

De façon générale, un pneumatique comprend une bande de roulement, destinée à venir
15 en contact avec le sol par l'intermédiaire d'une surface de roulement, et reliée par l'intermédiaire de deux flancs à deux bourrelets, destinés à assurer une liaison mécanique entre le pneumatique et la jante sur laquelle il est monté.

Un pneumatique radial comprend plus particulièrement une armature de renforcement, comprenant une armature de sommet, radialement intérieure à la bande de roulement,
20 et une armature de carcasse, radialement intérieure à l'armature de sommet.

Un pneumatique peut être pourvu d'une armature de carcasse surmontée radialement à l'extérieur par une armature de sommet afin de réaliser un frettage de ladite armature de carcasse. L'armature de sommet est en général formée par un empilement d'une pluralité
25 de nappes de renforts, ces renforts faisant avec la direction circonférentielle des angles généralement non nuls.

Un pneumatique comprend notamment une bande de roulement dont la surface de roulement est pourvue d'une sculpture formée par une pluralité de rainures délimitant
30 des éléments en relief (blocs, nervures) de façon à générer des arêtes de matière ainsi que des creux. Ces rainures représentent un volume de creux qui, rapporté au volume total de la bande de roulement (incluant à la fois le volume d'éléments en relief et celui de toutes les rainures) s'exprime par un pourcentage désigné dans la présente par "taux de creux volumique". Un taux de creux volumique égal à zéro indique une bande de
35 roulement sans rainure ni creux.

La présente invention est particulièrement bien adaptée aux pneumatiques destinés aux véhicules de génie civil et au poids lourds, plus particulièrement aux véhicules de génie civil dont les pneumatiques sont soumis à des contraintes bien spécifiques. Ainsi,
40 avantageusement, le pneumatique selon l'invention est un pneumatique pour les véhicules de génie civil ou poids lourds, de préférence de génie civil.

La bande de roulement selon l'invention peut avoir un ou plusieurs rainures dont la profondeur moyenne va de 15 à 120 mm, de préférence 65 à 120 mm.

- 5 Les pneumatiques selon l'invention peuvent avoir un diamètre allant de 20 à 63 pouces, de préférence de 35 à 63 pouces.

- 10 Par ailleurs, le taux moyen de creux volumique sur l'ensemble de la bande de roulement selon l'invention peut être compris dans un domaine allant de 5 à 40 %, de préférence de de 5 à 25 %.

Préparation de la composition à bas module de rigidité

Les sculptures de la bande de roulement peuvent être obtenues selon le procédé défini ci-dessous.

15

- Les masterbatches (mélanges contenant tous les ingrédients à l'exception du système de réticulation) peuvent être fabriquées dans des mélangeurs appropriés, en utilisant deux phases de préparation successives selon une procédure générale bien connue de l'homme du métier : une première phase de travail ou malaxage thermo-mécanique (parfois qualifiée de phase "non-productive") à haute température, jusqu'à une température maximale comprise entre 130°C et 200°C, de préférence entre 145°C et 185°C, suivie d'une seconde phase de travail mécanique (parfois qualifiée de phase "productive") à plus basse température, typiquement inférieure à 110°C, par exemple entre 40°C et 100°C, phase de finition au cours de laquelle est incorporé l'agent de réticulation chimique, en particulier le système de réticulation.
- 20
- 25

- A titre d'exemple pour l'obtention des masterbatches, la première phase (non-productive) est conduite en une seule étape thermomécanique au cours de laquelle on introduit, dans un mélangeur approprié tel qu'un mélangeur interne usuel, tous les constituants nécessaires, les éventuels agents de recouvrement ou de mise en œuvre complémentaires et autres additifs divers, à l'exception du système de vulcanisation. La durée totale du malaxage, dans cette phase non-productive, est de préférence comprise entre 2 et 10 min. Après refroidissement du mélange ainsi obtenu au cours de la première phase non-productive, on incorpore alors le système de vulcanisation à basse température, généralement dans un mélangeur externe tel qu'un mélangeur à cylindres; le tout est alors mélangé (phase productive) pendant quelques minutes, par exemple entre 5 et 15 min.
- 30
- 35

- La composition pour sculpture ainsi obtenue est ensuite calandree par exemple sous la forme d'une couche.
- 40

Préparation de la composition à haut module de rigidité

Lorsque la composition à haut module de rigidité est une composition élastomérique à base d'une matrice élastomérique, au moins une charge renforçante, au moins un système de réticulation, ou lorsqu'elle comprend un élastomère thermoplastique, cette composition peut être préparée selon un procédé similaire ou identique à celui de la composition à bas module de rigidité.

Lorsque la composition à haut module de rigidité est un thermoplastique, elle peut être fabriquée dans des mélangeurs appropriés, selon des procédés bien connus de l'homme du métier. Par exemple, dans une première étape le matériau thermoplastique, généralement sous forme de granulé est introduit dans un mélangeur et est travaillé ou malaxé à une température supérieure à son point de ramollissement, en générale à une température supérieure à 10°C de la température de fusion ou de la température de transition vitreuse du thermoplastique.

Dans une seconde étape le matériau thermoplastique est refroidi à une température inférieure à son point de ramollissement et extrudé ou calandré sous forme d'une feuille ou d'une plaque qui est ensuite découpé de manière à obtenir des éléments centimétrique de formes et dimensions souhaités.

Préparation de la bande de roulement

Pour obtenir l'orientation souhaitée des couches dans la bande de roulement selon la présente invention, on peut utiliser toute technique bien connue de l'homme du métier, notamment le procédé décrit dans la demande WO 2008/027045. Par exemple, des couches de composition à bas et haut module de rigidité peuvent être assemblées à plat alternativement et découpées par tout moyen approprié, par exemple par coupe jet d'eau, à l'angle souhaité, de manière à former des éléments de sculptures pouvant être disposé sur un bandage cru de pneumatique de manière bien connue de l'homme du métier.

D'autres avantages pourront encore apparaître à l'homme du métier à la lecture des exemples ci-dessous, illustrés par les figures annexées, donnés à titre illustratif et non limitatif.

Brève description des figures

- La Figure 1 est une représentation schématique d'un pneumatique (1), dont la bade de roulement comprend une nervure (2) située dans la zone centrale du pneumatique (1), des blocs (3), la nervure et les blocs étant séparés par des rainures circonférentielles (4) et des rainures sensiblement transversales (5).
- La Figure 2 est une représentation schématique de plusieurs modes de réalisation d'une sculpture selon l'invention, vue en coupe selon le plan XZ. Cette sculpture

- est composée d'une pluralité de couches (c1) constituées d'une composition à haut module de rigidité (plus fines) et de couches (c2) constituées d'une composition à bas module de rigidité (plus épaisses), parallèles, adjacentes entre elles, et orientées parallèlement à un plan qui est (i) perpendiculaire au plan XZ et (ii) orienté à un angle (a) de 20 degrés pour E1 et E3, de 25 degrés pour E4 et de 30 degrés pour E2, par rapport au plan YZ.

EXEMPLES

- 10 A) On a réalisé des échantillons de 10cm x 10cm de surface et de 3cm d'épaisseur selon le procédé décrit dans la demande WO 2008/027045 avec des couches constituées par compositions à bas et haut module de rigidité disposées alternativement.

On définit ci-dessous :

- 15 - « X » : une direction parallèle à la direction de sollicitation de l'échantillon, elle-même parallèle à la longueur de l'échantillon.
 - « Y » : une direction parallèle à la largeur de l'échantillon.
 - « Z » : une direction parallèle à l'épaisseur de l'échantillon.
- 20 Une composition A qui est une composition à bas module de rigidité et une composition B qui est une composition à haut module de rigidité ont été préparées. Ces compositions et les résultats expérimentaux associés sont présentés Tableau 1 ci-dessous :

Tableau 1

	A	B
NR (1)	100	100
Silice (2)	15	
Noir de carbone (3)	40	
Noir de carbone (4)		75
ZnO (5)	3	8
Acide stéarique	1	1
PEG (6)	2,5	
Résine FP (7)		11
HTT3H (8)		3
H3M72 (9)		6
Soufre	2	5
Accélérateur (10)	1,7	
Accélérateur (11)		1
Anti-oxydant (12)	1	1,5
Module d'extension (a)	4,7 MPa	54 MPa

- 25 (1) Caoutchouc naturel
 (2) « Ultrasil VN3 » commercialisé par Evonik

- (3) Noir de carbone de grade N234 selon la norme ASTM D-1765
- (4) Noir de carbone de grade N330 selon la norme ASTM D-1765
- (5) Oxyde de zinc de grade industriel de la société Umicore
- (6) Polyéthylène glycol de Mn 6000-20000 g/mol commercialisé par Sasol Marl
- 5 (7) Résine phénol-formaldéhyde
- (8) Durcisseur Hexaméthylènetétramine
- (9) Durcisseur Hexa(méthoxyméthyl)mélamine
- (10) N-cyclohexyl-2-benzothiazol-sulfénamide, « Santocure CBS », commercialisé par Flexsys
- (11) N-tert-butyl-2-benzothiazyl-sulfénamide commercialisé sous l'appellation TBBS
- 10 (12) N-(1,3-diméthylbutyl)-N'-phényl-p-phénylènediamine commercialisé sous l'appellation 6PPD
- (a) Module d'élasticité à 5% de déformation

Des échantillons E1, E2, E3 et E4 ont été réalisés à partir de compositions A et B sous formes de couches disposées alternativement et parallèles à un plan défini par (i) la direction Y et (ii) une droite orientée à 20, 25 ou 30 degrés par rapport à direction Z dans un plan défini par les directions X et Z.

Un échantillon témoin R1 a été réalisé avec une composition A uniquement, sans utiliser de couches orientées.

Les mesures des propriétés mécaniques ont été réalisées après cuisson des compositions précitées à une température de 150°C pendant 30 minutes. Les résultats ont été obtenus à partir d'éprouvettes haltères de type 2 à 5% de déformation à 23°C selon la norme NF ISO 37 de Décembre 2005.

Pour analyser le transfert des efforts du sol sur l'éprouvette de la composante verticale (Fz) vers la composante horizontale dans la direction de roulage (Fx) (le taux de couplage), on a appliqué une force Fz de 900daN correspondant à une pression moyenne de 9 bar ou de 600daN correspondant à une pression moyenne 6 bars à la surface des échantillons à l'aide d'un vérin électrique et la force résultante Fx a été mesurée à l'aide d'un capteur d'effort. Le rapport Fx divisé par Fz est appelé taux de couplage et est mesuré à deux pressions moyennes différentes.

Les échantillons R1, E1, E2, E3 et E4 et les résultats expérimentaux associés sont présentés Tableau 2 ci-dessous :

Tableau 2

Echantillons	R1	E1	E2	E3	E4
Angles des couches (degrés)	*	20	30	20	25
Epaisseur des couches A et B (mm)	*	2 / 0,5	2 / 0,5	4 / 0,5	4 / 0,5
Volume de composition B (% vol)	0%	20%	20%	11%	11%
Taux de couplage sous une pression moyenne de 6 bars	0,0%	5,7%	8,0%	4,0%	5,4%
Taux de couplage sous une pression moyenne de 9 bars	0,0%	5,7%	4,0%	3,8%	3,0%

* non applicable

5 Ces résultats montrent que les échantillons conformes à la présente invention (comprenant des couches de composition à bas et haut module de rigidité) créent un taux de couplage par rapport à un échantillon comprenant uniquement une composition à bas module de rigidité. On a observé que les échantillons qui comprennent un volume de composition B de 20% (E1 et E2) présente un taux de couplage plus élevé que les échantillons comprenant un volume de composition B de 11% (E3 et E4).

10

15 B) Une expérimentation similaire a été réalisée en utilisant, à la place de la composition B précitée, une composition C (à haut module de rigidité) en un matériau thermoplastique, à savoir un polyamide 66 adhésivé avec une colle RFL. Les couches en composition A faisaient 2mm d'épaisseur et celle de la composition C, 1mm d'épaisseur. La fraction volumique de la composition C était donc de 33% par rapport au volume de l'éprouvette.

20 Pour cette expérimentation, les couches des compositions A et C ont été disposées alternativement et orientées parallèlement à un plan défini par (i) la direction Y et (ii) une droite orientée à 25 ou 45 degrés par rapport à direction Z dans un plan défini par les directions X et Z.

25 Les résultats observés ont permis de démontrer qu'aucun taux de couplage n'est observé lorsque l'angle des couches est de 45 degrés, alors qu'un taux de couplage positif est obtenu lorsque l'angle des couches est de 25 degrés.

30 Les différentes mesures réalisées par les Demanderesses ont démontré que le taux de couplage obtenu était suffisant pour la mise en œuvre de la présente invention lorsque les couches sont orientées selon un angle de 15 à 35 degrés ou de 55 à 75 degrés.

30

La présente invention fournit donc des bandes de roulement permettant de transférer une proportion des efforts du sol sur le pneumatique de la composante F_z en différentes composantes F_x , permettant d'améliorer efficacement la résistance à l'usure des pneumatiques. Ces résultats sont particulièrement intéressants pour les véhicules roulant sur des sols non-bitumineux, tel que la plupart des véhicules de génie civil et certains poids lourds.

REVENDEICATIONS

1. Bande de roulement comprenant au moins une sculpture constituée d'une pluralité de couches parallèles et adjacentes entre elles, les couches étant orientées dans la sculpture parallèlement à un plan qui est (i) perpendiculaire au plan équatorial et (ii) orienté à un angle α exprimé en degrés par rapport au plan radial, l'angle α étant défini par la formule $\alpha = 45 \pm x$, où x est compris dans un domaine allant de 10 à 30, la pluralité de couches comprenant des couches constituées par une composition à bas module de rigidité dont le module d'extension à 5% de déformation est compris dans un domaine allant de 2 à 8 MPa et des couches constituées par une composition à haut module de rigidité dont le module d'extension à 5% de déformation est compris dans un domaine allant de 30 MPa à 50 GPa.
2. Bande de roulement selon la revendication 1, dans laquelle la composition à bas module de rigidité est une composition élastomérique à base d'une matrice élastomérique, au moins une charge renforçante et au moins un système de réticulation.
3. Bande de roulement selon la revendication 2, dans laquelle la matrice élastomérique de la composition à bas module de rigidité comprend un élastomère diénique, de préférence un élastomère choisi parmi les élastomères isopréniques, les copolymères butadiéniques et styréniques, les polybutadiènes et leurs mélanges.
4. Bande de roulement selon la revendication 2 ou 3, dans laquelle la charge renforçante de la composition à bas module de rigidité est choisie parmi le noir de carbone et/ou une charge inorganique.
5. Bande de roulement selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, dans laquelle le système de réticulation de la composition à bas module de rigidité comprend un agent de réticulation choisi dans le groupe constitué par le soufre, un donneur de soufre, un peroxyde, un bismaléimide et le mélange d'au moins deux de ces agents de réticulation.
6. Bande de roulement selon l'une quelconque des revendications 2 à 5, dans laquelle la composition à bas module de rigidité ne comprend pas de résine renforçante.
7. Bande de roulement selon l'une quelconque des revendications 2 à 6, dans laquelle la charge renforçante de la composition à bas module de rigidité est présente dans la composition à bas module de rigidité à une concentration allant de 10 à 160 parties en poids pour cent parties d'élastomère, pce, de préférence de 10 à 90 pce.

8. Bande de roulement l'une quelconque des revendications 2 à 7, dans laquelle le système de réticulation de la composition à bas module de rigidité est présent dans la composition à bas module de rigidité à une concentration allant de 0,1 à 5 pce, de préférence de 0,1 à 2 pce.
- 5
9. Bande de roulement selon l'une quelconque des revendications 1 à 8 dans laquelle la composition à haut module de rigidité est une composition élastomérique à base d'une matrice élastomérique, au moins une charge renforçante et au moins un système de réticulation.
- 10
10. Bande de roulement selon la revendication 9, dans laquelle la matrice élastomérique de la composition à haut module de rigidité comprend un élastomère diénique, de préférence un élastomère choisi parmi les élastomères isopréniques, les copolymères butadiéniques et styréniques, les polybutadiènes et leurs mélanges.
- 15
11. Bande de roulement selon la revendication 9 ou 10, dans laquelle la charge renforçante de la composition à haut module de rigidité comprend majoritairement du noir de carbone.
- 20
12. Bande de roulement selon l'une quelconque des revendications 9 à 11, dans laquelle le système de réticulation de la composition à haut module de rigidité comprend un agent de réticulation choisi dans le groupe constitué par le soufre, un donneur de soufre, un peroxyde, un bismaléimide et le mélange d'au moins deux de ces agents de réticulation.
- 25
13. Bande de roulement selon l'une quelconque des revendications 9 à 12, composition à haut module de rigidité comprend au moins une résine renforçante.
- 30
14. Bande de roulement selon la revendication 13, dans laquelle la résine renforçante de la composition à haut module de rigidité est choisie parmi les résines polyépoxydes, résines mélamine-formaldéhyde, résines phénol-formaldéhyde, résines urée-formaldéhyde, résines polyuréthanes, résines polyesters insaturés, résines vinyl esters, résines polyimides, résines diallyle phthalates, résines allyle diglycole carbonates, résines polyorganosiloxanes.
- 35
15. Bande de roulement selon l'une quelconque des revendications 9 à 14, dans laquelle la charge renforçante de la composition à haut module de rigidité est présente dans la composition à haut module de rigidité à une concentration allant de 10 à 160 pce, de préférence de 10 à 90 pce.
- 40

16. Bande de roulement selon l'une quelconque des revendications 9 à 15, dans laquelle le système de réticulation de la composition à haut module de rigidité est présente dans la composition à haut module de rigidité à une concentration allant de 0,1 à 40 pce, de préférence de 0,5 à 10 pce.
- 5
17. Bande de roulement selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans laquelle la composition à haut module de rigidité est un thermoplastique ou comprend un élastomère thermoplastique.
- 10
18. Bande de roulement selon la revendication 17, dans laquelle le thermoplastique est choisi parmi les polyoléfines, les polymères vinyliques chlorés, les polystyrènes, les polyamides, les polyesters, les copolymères d'éthylène et d'alcool vinylique, les polyacrylates, les polyacétals et leurs mélanges.
- 15
19. Bande de roulement selon la revendication 17 ou 18, dans laquelle le thermoplastique est adhérisé, de préférence avec une colle au latex résorcinol-formaldéhyde.
- 20
20. Bande de roulement selon la revendication 17, dans laquelle l'élastomère thermoplastique est choisi parmi les élastomères thermoplastiques styréniques, les copolymères bloc éther-amide, les copolyesters, les élastomères thermoplastiques polyuréthanes, les thermoplastiques vulcanisés, les polyoléfines thermoplastiques et leurs mélanges.
- 25
21. Bande de roulement selon l'une quelconque des revendications 1 à 20, dans laquelle le module E_H , et la fraction volumique ϕ_H de la composition à haut module et le module E_B et la fraction volumique ϕ_B (ou $1 - \phi_H$) de la composition à bas module sont définis de manière à ce que la formule
- $$\frac{\alpha}{[\phi_H + (1 - \phi_H)\alpha][\phi_H\alpha + (1 - \phi_H)]}, \text{ où } \alpha = E_H / E_M$$
- soit inférieure à 0,67.
- 30
22. Bande de roulement selon l'une quelconque des revendications 1 à 21, dans laquelle le module d'extension à 5% de déformation de la composition à bas module de rigidité est compris dans un domaine allant de 3 à 6 MPa.
- 35
23. Bande de roulement selon l'une quelconque des revendications 1 à 22, dans laquelle le module d'extension à 5% de déformation de la composition à haut module de rigidité est compris dans un domaine allant de 30 à 300 MPa, de préférence de 40 à 200 MPa.

24. Bande de roulement selon l'une quelconque des revendications 1 à 23, dans laquelle le volume des couches de la composition à bas module de rigidité représente de 50 à 95% en volume de la sculpture de la bande de roulement.
- 5 25. Bande de roulement selon l'une quelconque des revendications 1 à 24 dans laquelle les couches de la composition à bas module de rigidité ont une épaisseur comprise dans un domaine allant de 1 à 20 mm, de préférence de 1 à 10 mm.
- 10 26. Bande de roulement selon l'une quelconque des revendications 1 à 25, dans laquelle les couches de la composition à haut module de rigidité ont une épaisseur comprise dans un domaine allant de 0,1 à 20 mm, de préférence de 0,1 à 10 mm.
- 15 27. Bande de roulement selon l'une quelconque des revendications 1 à 26, dans laquelle les couches de la composition à bas module de rigidité et la composition de haut module de rigidité sont disposées alternativement.
28. Pneumatique comprenant une bande de roulement telle que définie selon l'une quelconque des revendications 1 à 27.
- 20 29. Pneumatique selon la revendication 28, ledit pneumatique étant un pneumatique de génie civil.

1/1

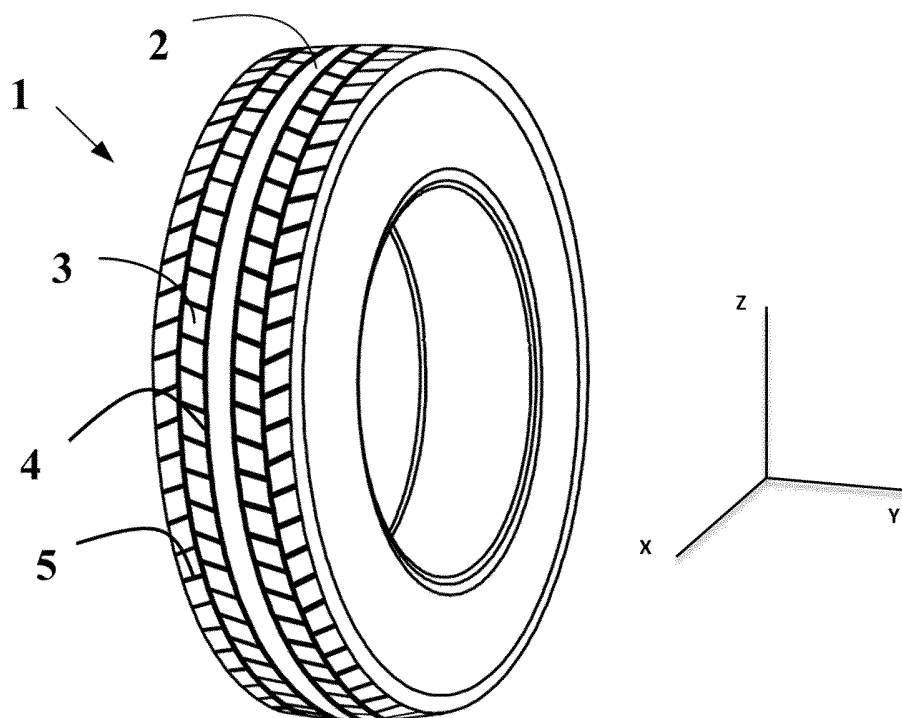


Figure 1

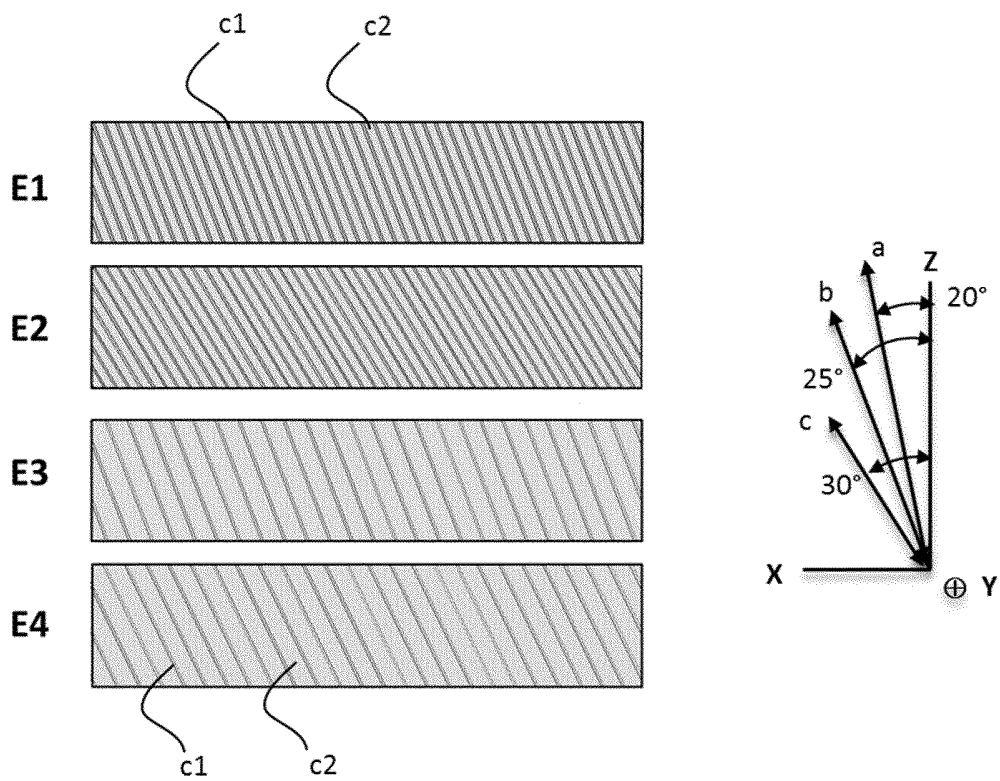


Figure 2

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 819882
FR 1563041

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	EP 1 630 003 A1 (SUMITOMO RUBBER IND [JP]) 1 mars 2006 (2006-03-01) * revendication 1; figures 1,6a,6b,7 * -----	1-29	B60C11/03 B60C1/00 C08L7/00 C08L9/00
A	EP 0 105 822 A2 (GOODYEAR TIRE & RUBBER [US]) 18 avril 1984 (1984-04-18) * abrégé; figures 1,2 * -----	1-29	C08L61/10 C08K3/04 C08K3/36
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B60C
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		2 septembre 2016	Brito, Fernando
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

1

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1563041 FA 819882**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 02-09-2016

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 1630003	A1	01-03-2006	CN 1739990 A	01-03-2006
			DE 602005001427 T2	14-02-2008
			EP 1630003 A1	01-03-2006
			JP 4523815 B2	11-08-2010
			JP 2006062518 A	09-03-2006
			US 2006048874 A1	09-03-2006

EP 0105822	A2	18-04-1984	CA 1213202 A	28-10-1986
			DE 3377205 D1	04-08-1988
			EP 0105822 A2	18-04-1984
			JP S5963205 A	10-04-1984
