



(43) Date de la publication internationale  
30 décembre 2015 (30.12.2015)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2015/197295 A1**

(51) Classification internationale des brevets :  
**B60C 9/18** (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/EP2015/061718

(22) Date de dépôt international :  
27 mai 2015 (27.05.2015)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
1455969 26 juin 2014 (26.06.2014) FR

(71) Déposants : **COMPAGNIE GENERALE DES ETABLISSEMENTS MICHELIN** [FR/FR]; 12 cours Sablon, F-63000 Clermont-Ferrand (FR). **MICHELIN RECHERCHE ET TECHNIQUE S.A.** [CH/CH]; Route Louis Braille 10, CH-1763 Granges-Paccot (CH).

(72) Inventeurs : **REHAB, Hichem**; Manufacture Française des Pneumatiques Michelin, DGD/PI - F35 - Ladoux, F-

63040 Clermont-Ferrand Cedex 9 (FR). **SALGUES, Nathalie**; Manufacture Française des Pneumatiques Michelin, DGD/PI - F35 - Ladoux, F-63040 Clermont-Ferrand Cedex 9 (FR). **BESSON, Jacques**; Manufacture Française des Pneumatiques Michelin, DGD/PI - F35 - Ladoux, F-63040 Clermont-Ferrand Cedex 9 (FR).

(74) Mandataire : **LE CAM, Stéphane**; Manufacture Française des Pneumatiques Michelin, 23 place des Carmes-Déchaux, DGD/PI - F35 - Ladoux, 63040 Clermont-Ferrand Cedex 9 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : TYRE COMPRISING A LAYER OF CIRCUMFERENTIAL REINFORCEMENT ELEMENTS

(54) Titre : PNEUMATIQUE COMPORTANT UNE COUCHE D'ELEMENTS DE RENFORCEMENT CIRCONFÉRENTIELS

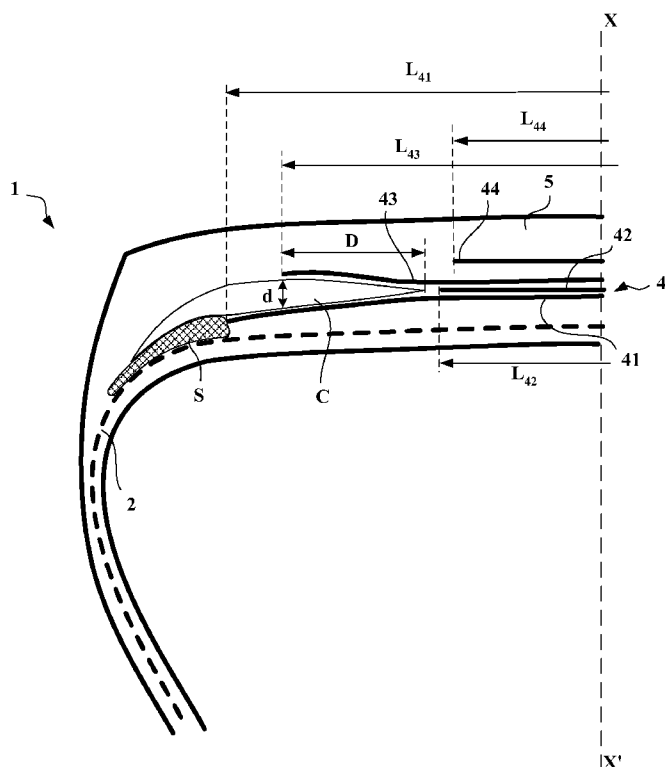


FIG.1

(57) Abstract : Tyre comprising a crown framework formed from at least two working layers each formed of reinforcement elements inserted between two calendering layers of rubber mixture, a first layer S of polymer mixture being in contact with at least one working layer and the carcass framework, and the crown framework comprising at least one layer of circumferential reinforcement elements. The modulus of elasticity under tension at 10% elongation of layer C is greater than 9 MPa, the maximum value of  $\tan(\delta)$ , denoted  $\tan(\delta)_{\max}$ , of said layer C is less than 0.100, said first layer S consists of a filled elastomer mixture having a macro dispersion score Z greater than or equal to 65 and a maximum value of  $\tan(\delta)$ , denoted  $\tan(\delta)_{\max}$ , less than 0.100 and the complex dynamic shear modulus  $G^*$  thereof, measured at 10% and 60°C on the return cycle, is greater than 1.35 MPa.

(57) Abrégé : Pneumatique

[Suite sur la page suivante]



SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,

DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

comprenant une armature de sommet formée d'au moins deux couches de travail chacune formée d'éléments de renforcement insérés entre deux couches de calandrage de mélange caoutchouteux, une première couche S de mélange polymérique étant au contact d'au moins une couche de travail et de l'armature de carcasse, et l'armature de sommet comportant au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels. Le module d'élasticité sous tension à 10% d'allongement de la couche C est supérieur à 9 MPa, la valeur maximale de  $\tan(\delta)$ , noté  $\tan(\delta)_{\max}$ , de ladite couche C est inférieure à 0.100, ladite première couche S est constituée d'un mélange élastomérique chargé présentant une note Z de macro dispersion supérieure ou égale à 65 et une valeur maximale de  $\tan(\delta)$ , noté  $\tan(\delta)_{\max}$ , inférieure à 0.100 et son module complexe de cisaillement dynamique  $G^*$ , mesuré à 10% et 60 °C sur le cycle retour, est supérieur à 1.35 MPa.

**PNEUMATIQUE COMPORTANT UNE COUCHE D'ÉLÉMENTS DE  
RENFORCEMENT CIRCONFÉRENTIELS**

[0001] La présente invention concerne un pneumatique, à armature de carcasse radiale et plus particulièrement un pneumatique destiné à équiper des véhicules portant de lourdes charges et roulant à vitesse soutenue, tels que, par exemple les camions, tracteurs, remorques ou bus routiers.

[0002] D'une manière générale dans les pneumatiques de type poids-lourds, l'armature de carcasse est ancrée de part et d'autre dans la zone du bourrelet et est surmontée radialement par une armature de sommet constituée d'au moins deux couches, superposées et formées de fils ou câbles parallèles dans chaque couche et croisés d'une couche à la suivante en faisant avec la direction circonférentielle des angles compris entre 10° et 45°. Lesdites couches de travail, formant l'armature de travail, peuvent encore être recouvertes d'au moins une couche dite de protection et formée d'éléments de renforcement avantageusement métalliques et extensibles, dits élastiques. Elle peut également comprendre une couche de fils ou câbles métalliques à faible extensibilité faisant avec la direction circonférentielle un angle compris entre 45° et 90°, cette nappe, dite de triangulation, étant radialement située entre l'armature de carcasse et la première nappe de sommet dite de travail, formées de fils ou câbles parallèles présentant des angles au plus égaux à 45° en valeur absolue. La nappe de triangulation forme avec au moins ladite nappe de travail une armature triangulée, qui présente, sous les différentes contraintes qu'elle subit, peu de déformations, la nappe de triangulation ayant pour rôle essentiel de reprendre les efforts de compression transversale dont est l'objet l'ensemble des éléments de renforcement dans la zone du sommet du pneumatique.

[0003] Des câbles sont dits inextensibles lorsque lesdits câbles présentent sous une force de traction égale à 10% de la force de rupture un allongement relatif au plus égal à 0,2%.

[0004] Des câbles sont dits élastiques lorsque lesdits câbles présentent sous une force de traction égale à la charge de rupture un allongement relatif au moins égal à 3% avec un module tangent maximum inférieur à 150 GPa.

[0005] Des éléments de renforcement circonférentiels sont des éléments de renforcement qui font avec la direction circonférentielle des angles compris dans l'intervalle  $+ 2,5^{\circ}$ ,  $- 2,5^{\circ}$  autour de  $0^{\circ}$ .

[0006] La direction circonférentielle du pneumatique, ou direction longitudinale, est la direction correspondant à la périphérie du pneumatique et définie par la direction de roulement du pneumatique.

[0007] La direction transversale ou axiale du pneumatique est parallèle à l'axe de rotation du pneumatique.

[0008] La direction radiale est une direction coupant l'axe de rotation du pneumatique et perpendiculaire à celui-ci.

[0009] L'axe de rotation du pneumatique est l'axe autour duquel il tourne en utilisation normale.

[0010] Un plan radial ou méridien est un plan qui contient l'axe de rotation du pneumatique.

[0011] Le plan médian circonférentiel, ou plan équatorial, est un plan perpendiculaire à l'axe de rotation du pneu et qui divise le pneumatique en deux moitiés.

[0012] On entend par « module d'élasticité » d'un mélange caoutchouteux, un module sécant d'extension à 10 % de déformation et à température ambiante.

[0013] En ce qui concerne les compositions de caoutchouc, les mesures de module sont effectuées en traction selon la norme AFNOR-NFT-46002 de septembre 1988 : on mesure en seconde élongation (i.e., après un cycle d'accommodation) le module sécant nominal (ou contrainte apparente, en MPa) à 10% d'allongement (conditions normales de température et d'hygrométrie selon la norme AFNOR-NFT-40101 de décembre 1979).

[0014] Certains pneumatiques actuels, dits "routiers", sont destinés à rouler à grande vitesse et sur des trajets de plus en plus longs, du fait de l'amélioration du réseau routier et de la croissance du réseau autoroutier dans le monde. L'ensemble des conditions, sous lesquelles un tel pneumatique est appelé à rouler, permet sans aucun doute un accroissement

du nombre de kilomètres parcourus, l'usure du pneumatique étant moindre ; par contre l'endurance de ce dernier et en particulier de l'armature de sommet est pénalisée.

[0015] Il existe en effet des contraintes au niveau de l'armature de sommet et plus particulièrement des contraintes de cisaillement entre les couches de sommet, alliées à une élévation non négligeable de la température de fonctionnement au niveau des extrémités de la couche de sommet axialement la plus courte, qui ont pour conséquence l'apparition et la propagation de fissures de la gomme au niveau desdites extrémités.

[0016] Afin d'améliorer l'endurance de l'armature de sommet du type de pneumatique étudié, des solutions relatives à la structure et qualité des couches et/ou profilés de mélanges caoutchouteux qui sont disposés entre et/ou autour des extrémités de nappes et plus particulièrement des extrémités de la nappe axialement la plus courte ont déjà été apportées.

[0017] Il est notamment connu d'introduire une couche de mélange caoutchouteux entre les extrémités des couches de travail pour créer un découplage entre lesdites extrémités pour limiter les contraintes de cisaillement. De telles couches de découplage doivent toutefois présenter une très bonne cohésion. De telles couches de mélanges caoutchouteux sont par exemple décrites dans la demande de brevet WO 2004/076204.

[0018] Le brevet FR 1 389 428, pour améliorer la résistance à la dégradation des mélanges de caoutchouc situés au voisinage des bords d'armature de sommet, préconise l'utilisation, en combinaison avec une bande de roulement de faible hystérèse, d'un profilé de caoutchouc couvrant au moins les côtés et les bords marginaux de l'armature de sommet et constitué d'un mélange caoutchouteux à faible hystérésis.

[0019] Le brevet FR 2 222 232, pour éviter les séparations entre nappes d'armature de sommet, enseigne d'enrober les extrémités de l'armature dans un matelas de caoutchouc, dont la dureté Shore A est différente de celle de la bande de roulement surmontant ladite armature, et plus grande que la dureté Shore A du profilé de mélange caoutchouteux disposé entre les bords de nappes d'armature de sommet et armature de carcasse.

[0020] Les pneumatiques ainsi réalisés permettent effectivement d'améliorer les performances notamment en termes d'endurance.

[0021] Par ailleurs, il est connu pour réaliser des pneumatiques à bande de roulement très large ou bien pour conférer à des pneumatiques d'une dimension donnée des capacités de charges plus importantes d'introduire une couche d'éléments de renforcement circonférentiels. La demande de brevet WO 99/24269 décrit par exemple la présence d'une telle couche d'éléments de renforcement circonférentiels.

[0022] La couche d'éléments de renforcement circonférentiels est usuellement constituée par au moins un câble métallique enroulé pour former une spire dont l'angle de pose par rapport à la direction circonférentielle est inférieur à 2.5°.

[0023] Lors d'essais, les inventeurs ont mis en évidence que lors de sollicitations de certaines conceptions de ce type de pneumatiques, comportant une couche d'éléments de renforcement circonférentiels, en dérive sévères et fréquentes telles que l'on peut les trouver lors de roulage sur des routes sinueuses, lesdits pneumatiques pouvaient présenter des propriétés en termes de rigidité de dérive telles, qu'il apparait un clivage au niveau des mélanges caoutchouteux constitutifs de l'armature sommet que l'on trouve entre les couches de travail. Un tel clivage est bien entendu pénalisant en termes de propriétés d'endurance du pneumatique. De tels clivages sont encore accentués lors de roulages en surcharge et à vitesse élevée, toujours sur des routes sinueuses.

[0024] Un but de l'invention est de fournir des pneumatiques dont les propriétés d'endurance sont conservées quel que soit l'usage et dont les performances en termes de résistance au roulement sont améliorées pour contribuer à une moindre consommation de carburant par les véhicules équipés de tels pneumatiques. L'invention vise notamment une amélioration des propriétés dynamiques des pneumatiques, et notamment de la rigidité de dérive de sorte que les propriétés d'endurance sont conservées quel que soit l'usage et notamment dans des conditions de roulages en surcharge et à vitesse élevée

[0025] Ce but est atteint selon l'invention par un pneumatique à armature de carcasse radiale comprenant une armature de sommet formée d'au moins deux couches de sommet de travail d'éléments de renforcement, croisés d'une couche à l'autre en faisant avec la direction circonférentielle des angles compris entre 10° et 45°, une couche C de mélange caoutchouteux étant disposée entre au moins les extrémités desdites au moins deux couches de sommet de travail, une première couche S de mélange polymérique étant au contact d'au

moins une couche de sommet de travail et au contact de l'armature de carcasse, ladite première couche de mélange polymérique s'étendant axialement jusqu'au moins l'extrémité axiale de la bande de roulement, ladite bande de roulement coiffant l'armature de sommet, ladite bande de roulement étant réunie à deux bourrelets par l'intermédiaire de deux flancs, l'armature de sommet comportant au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels, le module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement de la couche C étant supérieur à 9 MPa et la valeur maximale de  $\tan(\delta)$ , noté  $\tan(\delta)_{\max}$ , de la couche C étant inférieure à 0.100, ladite première couche S de mélange polymérique étant constituée d'un mélange élastomérique chargé présentant une note Z de macro dispersion supérieure ou égale à 65 et une valeur maximale de  $\tan(\delta)$ , noté  $\tan(\delta)_{\max}$ , inférieure à 0.100 et le module complexe de cisaillement dynamique  $G^*$ , mesuré à 10% et 60 °C sur le cycle retour, de ladite première couche S de mélange polymérique étant supérieur à 1.35 MPa.

**[0026]** Une note Z de macro dispersion supérieure ou égale à 65 d'un mélange élastomérique chargé signifie que la charge est dispersée dans la matrice élastomère de la composition avec une note de dispersion Z supérieure ou égale à 65.

**[0027]** Dans la présente description, la dispersion de charge dans une matrice élastomère est caractérisée par la note Z, qui est mesurée, après réticulation, selon la méthode décrite par S. Otto et Al dans Kautschuk Gummi Kunststoffe, 58 Jahrgang, NR 7-8/2005, en accord avec la norme ISO 11345.

**[0028]** Le calcul de la note Z est basé sur le pourcentage de surface dans laquelle la charge n'est pas dispersée (« % surface non dispersée »), telle que mesurée par l'appareil « disperGRADER+ » fourni avec son mode opératoire et son logiciel d'exploitation « disperDATA » par la société Dynisco selon l'équation :

$$Z = 100 - (\% \text{ surface non dispersée}) / 0.35$$

**[0029]** Le pourcentage de surface non dispersée est, quant à lui, mesuré grâce à une caméra observant la surface de l'échantillon sous une lumière incidente à 30°. Les points clairs sont associés à de la charge et à des agglomérats, tandis que les points foncés sont associés à la matrice de caoutchouc ; un traitement numérique transforme l'image en une image noir et blanche, et permet la détermination du pourcentage de surface non dispersée, telle que décrite par S.Otto dans le document précité.

[0030] Plus la note Z est haute, meilleure est la dispersion de la charge dans la matrice en caoutchouc (une note Z de 100 correspondant à une dispersion parfaite et une note Z de 0 à une dispersion médiocre). On considèrera qu'une note Z supérieure ou égale à 65 correspond à une dispersion satisfaisante de la charge dans la matrice élastomère.

5 [0031] Les mélanges élastomériques constituant la couche S sont préparés selon des méthodes connues.

[0032] Afin d'atteindre une note Z de macrodispersion supérieure ou égale à 65, le mélange élastomérique constituant la couche S peut avantageusement être préparé par formation d'un mélange maître d'élastomère diénique et de charge renforçante.

10 [0033] Au sens de l'invention, on entend par « mélange maître » (couramment désigné par son nom anglais « masterbatch »), un composite à base d'élastomère dans lequel a été introduite une charge.

[0034] Il existe différentes méthodes pour obtenir un mélange maître d'élastomère diénique et de charge renforçante. En particulier un type de solution consiste, pour  
15 améliorer la dispersion de la charge dans la matrice élastomère, à procéder au mélange de l'élastomère et de la charge en phase « liquide ». Pour ce faire, on a fait appel à un élastomère sous forme de latex qui se présente sous forme de particules d'élastomère dispersées dans l'eau, et à une dispersion aqueuse de la charge, c'est-à-dire une charge dispersée dans de l'eau, couramment appelée « slurry ».

20 [0035] Ainsi, selon une des variantes de l'invention, le mélange maître est obtenu par mélangeage en phase liquide à partir d'un latex d'élastomère diénique comprenant du caoutchouc naturel et d'une dispersion aqueuse d'une charge comprenant du noir de carbone.

[0036] Plus préférentiellement encore le mélange maître selon l'invention est obtenu  
25 selon les étapes de procédé suivantes, permettant l'obtention d'une très bonne dispersion de la charge dans la matrice élastomère:

- alimenter avec un premier flux continu d'un latex d'élastomère diénique une zone de mélange d'un réacteur de coagulation définissant une zone allongée de coagulation s'étendant entre la zone de mélange et une sortie,

- alimenter ladite zone de mélange du réacteur de coagulation avec un second flux continu d'un fluide comprenant une charge sous pression pour former un mélange avec le latex d'élastomère en mélangeant le premier fluide et le second fluide dans la zone de mélange de manière suffisamment énergique pour coaguler le latex d'élastomère avec la charge avant la sortie, ledit mélange s'écoulant comme un flux continu vers la zone de sortie et ladite charge étant susceptible de coaguler le latex d'élastomère, ,

- récupérer à la sortie du réacteur le coagulum obtenu précédemment sous forme d'un flux continu et le sécher afin de récupérer le mélange maître.

[0037] Un tel procédé de préparation d'un mélange maître en phase liquide est par exemple décrit dans le document WO 97/36724.

[0038] Avantageusement selon l'invention, la liaison élastomère-charge de la première couche S de mélange polymérique est caractérisée par un taux de « bond rubber », mesuré avant réticulation, supérieur à 35%.

[0039] Le test dit de "bound rubber" permet de déterminer la proportion d'élastomère, dans une composition non vulcanisée, qui est associée à la charge renforçante si intimement que cette proportion d'élastomère est insoluble dans les solvants organiques usuels. La connaissance de cette proportion insoluble de caoutchouc, fixée par la charge renforçante au cours du mélangeage, donne une indication quantitative de l'activité renforçante de la charge dans la composition de caoutchouc. Une telle méthode a été décrite par exemple dans la norme NF-T-45-114 (juin 1989) appliquée à la détermination du taux d'élastomère lié au noir de carbone.

[0040] Ce test, bien connu de l'homme du métier pour caractériser la qualité de renforcement apportée par la charge renforçante, a par exemple été décrit dans les documents suivants: *Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications*, Vol. 25, No7, p. 327 (1996) ; *Rubber Chemistry and Technology*, Vol. 69, p. 325 (1996).

[0041] Dans le cas présent, on mesure le taux d'élastomère non extractible au toluène, après un gonflement pendant 15 jours d'un échantillon de composition de caoutchouc (typiquement 300-350 mg) dans ce solvant (par exemple dans 80-100 cm<sup>3</sup> de toluène), suivi d'une étape de séchage de 24 heures à 100°C, sous vide, avant pesée de l'échantillon de composition de caoutchouc ainsi traité. De préférence, l'étape de gonflement ci-dessus est conduite à la température ambiante (environ 20°C) et à l'abri de la lumière, et le solvant (toluène) est changé une fois, par exemple après les cinq premiers jours de gonflement. Le taux de "bound rubber" (% en poids) est calculé de manière connue par différence entre le poids initial et le poids final de l'échantillon de composition de caoutchouc, après prise en compte et élimination, dans le calcul, de la fraction des composants insolubles par nature, autres que l'élastomère, présents initialement dans la composition de caoutchouc.

[0042] Le facteur de perte  $\tan(\delta)$  est une propriété dynamique de la couche de mélange caoutchouteux. Il est mesuré sur un viscoanalyseur (Metravib VA4000), selon la norme ASTM D 5992-96. On enregistre la réponse d'un échantillon de composition vulcanisée (éprouvette cylindrique de 4 mm d'épaisseur et de 400 mm<sup>2</sup> de section), soumis à une sollicitation sinusoïdale en cisaillement simple alterné, à la fréquence de 10Hz, à une température de 60°C. On effectue un balayage en amplitude de déformation de 0,1 à 50% (cycle aller), puis de 50% à 1% (cycle retour). Les résultats exploités sont le module complexe de cisaillement dynamique ( $G^*$ ) et le facteur de perte  $\tan(\delta)$ . Pour le cycle retour, on indique la valeur maximale de  $\tan(\delta)$  observée, noté  $\tan(\delta)_{\max}$ .

[0043] La résistance au roulement est la résistance qui apparaît lorsque le pneumatique roule. Elle est représentée par les pertes hystérétiques liées à la déformation du pneumatique durant une révolution. Les valeurs de fréquence liées à la révolution du pneumatique correspondent à des valeurs de  $\tan(\delta)$  mesurée entre 30 et 100°C. La valeur de  $\tan(\delta)$  à 100 °C correspond ainsi à un indicateur de la résistance au roulement du pneumatique en roulage.

[0044] Il est encore possible d'estimer la résistance au roulement par la mesure des pertes d'énergie par rebond des échantillons à énergie imposée à des températures de 60 °C et exprimées en pourcentage.

[0045] Avantageusement selon l'invention, la perte à 60 °C, notée P60, de la couche de mélange caoutchouteux C est inférieure à 20 %.

[0046] La couche C de mélange caoutchouteux permet d'obtenir un découplage desdites couches de sommet de travail afin de répartir les contraintes de cisaillement sur une plus grande épaisseur.

[0047] Au sens de l'invention des couches couplées sont des couches dont les éléments de renforcement respectifs sont séparés radialement d'au plus 1,5 mm, ladite épaisseur de caoutchouc étant mesurée radialement entre les génératrices respectivement supérieure et inférieure desdits éléments de renforcement.

[0048] L'utilisation de tels mélanges dont les modules d'élasticité sont supérieurs ou égaux à 9 MPa et dont la valeur  $\tan(\delta)_{\max}$  est inférieure à 0.100 va permettre d'améliorer les propriétés du pneumatique en matière de résistance au roulement en conservant des propriétés d'endurance satisfaisante.

[0049] Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, la couche C de mélange caoutchouteux est un mélange élastomérique à base de caoutchouc naturel ou de polyisoprène synthétique à majorité d'enchaînements cis-1,4 et éventuellement d'au moins un autre élastomère diénique, le caoutchouc naturel ou le polyisoprène synthétique en cas de coupage étant présent à un taux majoritaire par rapport au taux de l'autre ou des autres élastomères diéniques utilisés et d'une charge renforçante constituée :

- a) soit par du noir de carbone de surface spécifique BET inférieure à 60 m<sup>2</sup>/g, quelle que soit son indice de structure, employé à un taux compris entre 40 et 100 pce, et de préférence entre 60 et 90 pce,
- b) soit par une charge blanche de type silice et/ou alumine comportant des fonctions de surface SiOH et/ou AlOH choisie dans le groupe formé par les silices précipitées ou pyrogénées, les aluminosilicates ou bien encore les noirs de carbone modifiés en cours ou après la synthèse de surface spécifique BET comprise entre 30 et 260 m<sup>2</sup>/g employée à un taux compris entre 40 et 100 pce, et de préférence entre 60 et 90 pce,

- c) soit par un coupage de noir de carbone décrit en (a) et d'une charge blanche décrite en (b), dans lequel le taux global de charge est compris entre 40 et 100 pce, et de préférence entre 60 et 90 pce.

[0050] La mesure de surface spécifique BET est effectuée selon la méthode de BRUNAUER, EMMET et TELLER décrite dans "The Journal of the American Chemical Society", vol. 60, page 309, février 1938, correspondant à la norme NFT 45007 de novembre 1987.

[0051] Dans le cas d'utilisation de charge claire ou charge blanche, il est nécessaire d'utiliser un agent de couplage et/ou de recouvrement choisi parmi les agents connus de l'homme de l'art. Comme exemples d'agents de couplage préférentiel, on peut citer les alcoxysilanes sulfurés du type polysulfure de bis-(3-trialcoxysilylpropyle), et parmi ceux-ci notamment le tétrasulfure de bis-(3-triéthoxysilylpropyle) commercialisé par la Société DEGUSSA sous les dénominations Si69 pour le produit liquide pur et X50S pour le produit solide (coupage 50/50 en poids avec du noir N330). Comme exemples d'agents de recouvrement on peut citer un alcool gras, un alkylalcoxysilane tel qu'un hexadécyltriméthoxy ou triéthoxysilane respectivement commercialisés par la Société DEGUSSA sous les dénominations Si116 et Si216, la diphénylguanidine, un polyéthylène glycol, une huile silicone éventuellement modifiée au moyen des fonctions OH ou alcoxy. L'agent de recouvrement et/ou de couplage est utilisé dans un rapport pondéral par rapport à la charge  $\geq$  à 1/100 et  $\leq$  à 20/100, et préférentiellement compris entre 2/100 et 15/100 lorsque la charge claire représente la totalité de la charge renforçante et compris entre 1/100 et 20/100 lorsque la charge renforçante est constituée par un coupage de noir de carbone et de charge claire.

[0052] Comme autres exemples de charges renforçantes ayant la morphologie et les fonctions de surface SiOH et/ou AlOH des matières de type silice et/ou alumine précédemment décrites et pouvant être utilisées selon l'invention en remplacement partiel ou total de celles-ci, on peut citer les noirs de carbone modifiés soit au cours de la synthèse par addition à l'huile d'alimentation du four d'un composé du silicium et/ou d'aluminium soit après la synthèse en ajoutant, à une suspension aqueuse de noir de carbone dans une solution de silicate et/ou d'aluminate de sodium, un acide de façon à recouvrir au moins partiellement la surface du noir de carbone de fonctions SiOH et/ou AlOH. Comme

exemples non limitatifs de ce type de charges carbonées avec en surface des fonctions SiOH et/ou AlOH, on peut citer les charges type CSDP décrites dans la Conférence N° 24 du Meeting ACS, Rubber Division, Anaheim, Californie, 6-9 mai 1997 ainsi que celles de la demande de brevet EP-A-0 799 854.

5 [0053] Lorsqu'une charge claire est utilisée comme seule charge renforçante, les propriétés d'hystérèse et de cohésion sont obtenues en utilisant une silice précipitée ou pyrogénée, ou bien une alumine précipitée ou bien encore un aluminosilicate de surface spécifique BET comprise entre 30 et 260 m<sup>2</sup>/g. Comme exemples non limitatifs de ce type de charge, on peut citer les silices KS404 de la Société Akzo, Ultrasil VN2 ou VN3 et  
10 BV3370GR de la Société Degussa, Zeopol 8745 de la Société Huber, Zeosil 175MP ou Zeosil 1165MP de la société Rhodia, HI-SIL 2000 de la Société PPG etc...

[0054] Parmi les élastomères diéniques pouvant être utilisés en coupage avec le caoutchouc naturel ou un polyisoprène synthétique à majorité d'enchaînements cis-1,4, on peut citer un polybutadiène (BR) de préférence à majorité d'enchaînements cis-1,4, un  
15 copolymère styrène-butadiène (SBR) solution ou émulsion, un copolymère butadiène-isoprène (BIR) ou bien encore un terpolymère styrène-butadiène-isoprène (SBIR). Ces élastomères peuvent être des élastomères modifiés en cours de polymérisation ou après polymérisation au moyen d'agents de ramification comme un divinylbenzène ou d'agents d'étoilage tels que des carbonates, des halogénoétains, des halogénosiliciums ou bien encore  
20 au moyen d'agents de fonctionnalisation conduisant à un greffage sur la chaîne ou en bout de chaîne de fonctions oxygénées carbonyle, carboxyle ou bien d'une fonction amine comme par exemple par action de la diméthyl ou de la diéthylamino benzophénone. Dans le cas de coupages de caoutchouc naturel ou de polyisoprène synthétique à majorité d'enchaînements cis-1,4 avec un ou plusieurs des élastomères diéniques, mentionnés ci-dessus, le caoutchouc  
25 naturel ou le polyisoprène synthétique est utilisé de préférence à un taux majoritaire et plus préférentiellement à un taux supérieur à 70 pce.

[0055] Le choix de la charge renforçante intervenant dans le mélange caoutchouteux constituant la couche C contribue à la fois à l'obtention des valeurs de module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement et à l'obtention des valeurs de  $\tan(\delta)_{\max}$ . Toutefois, dans  
30 les plages de valeurs précitées concernant les dites charges renforçantes, l'homme du métier saura encore adapter les quantités d'autres constituants usuels, tels que les agents

vulcanisant ou bien les dérivés de cobalt, ou adapter les procédés de mélanges pour obtenir les valeurs de module d'élasticité et de  $\tan(\delta)_{\max}$  précitées.

[0056] Les conceptions de pneumatiques plus usuelles prévoient des couches de mélange caoutchouteux disposées entre les extrémités des couches de sommet de travail avec des modules d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement sensiblement équivalents à ceux de la couche C selon l'invention mais des valeurs maximales de  $\tan(\delta)$ , noté  $\tan(\delta)_{\max}$ , de la couche C supérieures à 0.130. De tels mélanges plus usuels pour ce type de couche conduisent à une meilleure cohésion.

[0057] Au sens de l'invention, un mélange caoutchouteux cohésif est un mélange caoutchouteux notamment robuste à la fissuration. La cohésion d'un mélange est ainsi évaluée par un test de fissuration en fatigue réalisé sur une éprouvette « PS » (cisaillement simple). Il consiste à déterminer, après entaillage de l'éprouvette, la vitesse de propagation de fissure «  $V_p$  » (nm/cycle) en fonction du taux de restitution d'énergie «  $E$  » (J/m<sup>2</sup>). Le domaine expérimental couvert par la mesure est compris dans la plage -20°C et +150°C en température, avec une atmosphère d'air ou d'azote. La sollicitation de l'éprouvette est un déplacement dynamique imposé d'amplitude comprise entre 0.1mm et 10mm sous forme de sollicitation de type impulsif (signal « haversine » tangent) avec un temps de repos égal à la durée de l'impulsion ; la fréquence du signal est de l'ordre de 10Hz en moyenne.

[0058] La mesure comprend 3 parties :

- Une accommodation de l'éprouvette « PS », de 1000 cycles à 27% de déformation.
- une caractérisation énergétique pour déterminer la loi «  $E$  » = f (déformation). Le taux de restitution d'énergie «  $E$  » est égal à  $W_0 \cdot h_0$ , avec  $W_0$  = énergie fournie au matériau par cycle et par unité de volume et  $h_0$  = hauteur initiale de l'éprouvette. L'exploitation des acquisitions « force / déplacement » donne ainsi la relation entre «  $E$  » et l'amplitude de la sollicitation.
- La mesure de fissuration, après entaillage de l'éprouvette « PS ». Les informations recueillies conduisent à déterminer la vitesse de propagation de la fissure «  $V_p$  » en fonction du niveau de sollicitation imposé «  $E$  ».

[0059] Les inventeurs ont su mettre en évidence que la cohésion de la couche C conforme à l'invention reste satisfaisante.

[0060] Les inventeurs ont notamment mis en évidence que la présence d'au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels contribue à une moindre évolution de la cohésion de la couche C. En effet, les conceptions de pneumatiques plus usuelles comportant notamment des couches de mélange caoutchouteux disposées entre les extrémités des couches de sommet de travail avec des valeurs de  $\tan(\delta)_{\max}$  supérieures à 0.130, conduisent à une évolution de la cohésion desdites couches de mélange caoutchouteux disposées entre les extrémités des couches de sommet de travail, celle-ci tendant à s'affaiblir. Les inventeurs constatent que la présence d'au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels qui limite les contraintes de cisaillement entre les extrémités des couches de sommet de travail et en outre, limite les augmentations de température conduit à une faible évolution de la cohésion de la couche C. Les inventeurs considèrent ainsi que la cohésion de la couche C, plus faible que ce qui existe dans les conceptions de pneumatiques plus usuelles, est satisfaisante dans la conception du pneumatique selon l'invention.

[0061] Les inventeurs ont ainsi su mettre en évidence que la présence d'au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels permet de conserver des performances notamment en termes d'endurance satisfaisantes avec la combinaison d'un module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement de la couche C supérieur à 9 MPa et d'une valeur de  $\tan(\delta)_{\max}$  de la couche C inférieure à 0.100.

[0062] Les inventeurs ont encore su mettre en évidence que le choix d'une première couche S présentant un module complexe de cisaillement  $G^*$ , mesuré à 10% et 60 °C sur le cycle retour, supérieur à 1.35 MPa améliore les propriétés dynamiques et notamment des propriétés de rigidité de dérive du pneumatique, notamment lorsque le pneumatique est soumis à des conditions de roulage particulièrement pénalisantes en termes de clivage des mélanges caoutchouteux. Les inventeurs ont en effet su mettre en évidence que malgré la présence d'une couche d'éléments de renforcement circonférentiels qui confère pourtant une rigidité significative au pneumatique, plus particulièrement à l'armature sommet de

celui-ci, les caractéristiques énoncées ci-dessus de la première couche S apporte une contribution notable à cette propriété de rigidité de dérive.

[0063] En effet, de manière tout à fait inattendue pour l'homme du métier, les propriétés de la première couche S de mélange polymérique, ladite couche S étant positionnée au contact de l'armature de carcasse et d'au moins une couche de l'armature de sommet, ont une influence notable sur les propriétés de rigidité de dérive. La présence de la couche d'éléments de renforcement circonférentiels semblait pouvoir influencer les propriétés de rigidité de dérive de manière suffisante et a priori de manière optimale du fait de la rigidité qu'elle confère au pneumatique. Les essais réalisés ont mis en évidence que les propriétés de la première couche S ont un effet important sur les propriétés de rigidité de dérive du pneumatique et permettent de les améliorer y compris en présence d'une couche d'éléments de renforcement circonférentiels. Les inventeurs ont encore mis en évidence que le choix de cette première couche S de mélange polymérique ne dégrade pas les performances relatives aux sollicitations subies par le pneumatique lors de roulages en ligne droite.

[0064] Avantageusement selon l'invention, le module complexe de cisaillement  $G^*$ , mesuré à 10% et 60 °C sur le cycle retour, de la première couche S est inférieur à 2 MPa, de sorte que les propriétés thermiques du pneumatique ne soit pas trop modifiées au risque de dégrader les propriétés d'endurance du pneumatique ainsi que ses propriétés de résistance au roulement.

[0065] Les inventeurs ont encore montré que la première couche S, étant constituée d'un mélange élastomérique chargé présentant une note Z de macro dispersion supérieure ou égale à 65 et une valeur maximale de  $\tan(\delta)$ , noté  $\tan(\delta)_{\max}$ , inférieure à 0.100, présente une cohésion suffisamment élevée pour limiter la propagation de fissures amorcées lorsqu'un objet perfore la bande de roulement du pneumatique. Les inventeurs mettent ainsi en évidence l'obtention d'un compromis de performances du pneumatique combinant les propriétés dynamiques, notamment la rigidité de dérive, la résistance au roulement et les propriétés d'endurance, y compris dans le cas énoncé ci-dessus lorsqu'un objet perfore la bande de roulement du pneumatique.

[0066] Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, le mélange élastomérique de la première couche S comporte comme charge renforçante au moins un noir de carbone de surface spécifique BET supérieure à 90 m<sup>2</sup>/g et de préférence supérieure ou égale à 120 m<sup>2</sup>/g, employé à un taux compris entre 10 et 50 pce.

5 [0067] De préférence encore, la charge renforçante du mélange élastomérique de la première couche S comporte comme charge renforçante un coupage de noir de carbone tel que décrit précédemment et d'une charge blanche, le taux global de charge étant compris entre 10 et 60 pce et le ratio noir de carbone sur charge blanche étant supérieur à 2.7.

10 [0068] Le choix des charges telles que décrites ci-dessus permet encore de conférer des propriétés de cohésion de la deuxième couche S satisfaisantes.

15 [0069] Selon une variante avantageuse de l'invention, le pneumatique comporte une deuxième couche G de mélange polymérique radialement entre l'armature de carcasse et la couche d'éléments de renforcement radialement la plus intérieure de l'armature de sommet de largeur axiale au moins égale à 70 % de la largeur de la couche d'éléments de renforcement radialement la plus intérieure de l'armature de sommet, ladite deuxième  
20 couche G de mélange polymérique étant constituée d'un mélange élastomérique chargé présentant une note Z de macro dispersion supérieure ou égale à 65 et une valeur maximale de tan( $\delta$ ), noté tan( $\delta$ )max, inférieure à 0.100 et le module complexe de cisaillement G\*, mesuré à 10% et 60 °C sur le cycle retour, de la quatrième couche G étant supérieur à 1.35 Mpa.

[0070] Avantageusement selon l'invention, la liaison élastomère-charge de la deuxième couche G de mélange polymérique est caractérisée par un taux de « bond rubber », mesuré avant réticulation, supérieur à 35%.

25 [0071] Selon un mode de réalisation préféré de cette variante de l'invention, la largeur axiale de ladite deuxième couche G est au plus égale à la largeur de la couche d'éléments de renforcement radialement la plus intérieure de l'armature de sommet et de préférence, au moins égale à 90 % de la largeur de la couche d'éléments de renforcement radialement la plus intérieure de l'armature de sommet.

[0072] De préférence également selon cette variante de l'invention, l'épaisseur, mesurée selon la direction radiale, de ladite deuxième couche G est supérieure à  $\phi$  et de préférence inférieure à  $3\phi$ ,  $\phi$  étant le diamètre des éléments de renforcement de la couche d'armature de sommet radialement la plus intérieure.

5 [0073] Les inventeurs ont encore su mettre en évidence que la deuxième couche G de mélange polymérique ainsi définie contribue encore à l'amélioration des propriétés de rigidité de dérive du pneumatique en complément de la couche d'éléments de renforcement circonférentiels et de la première couche S de mélange polymérique.

10 [0074] Avantageusement selon l'invention, le module complexe de cisaillement  $G^*$ , mesuré à 10% et 60 °C sur le cycle retour, de la deuxième couche G est inférieur à 2 MPa, de sorte que les propriétés thermiques du pneumatique ne soit pas trop modifiées au risque de dégrader les propriétés d'endurance du pneumatique ainsi que ses propriétés de résistance au roulement.

15 [0075] Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, le mélange élastomérique de la deuxième couche G comporte comme charge renforçante au moins un noir de carbone de surface spécifique BET supérieure à 90 m<sup>2</sup>/g et de préférence supérieure à 120 m<sup>2</sup>/g, employé à un taux compris entre 10 et 50 pce.

20 [0076] De préférence encore, la charge renforçante du mélange élastomérique de la deuxième couche G comporte comme charge renforçante un coupage de noir de carbone tel que décrit précédemment et d'une charge blanche, le taux global de charge étant compris entre 10 et 60 pce et le ratio noir de carbone sur charge blanche étant supérieur à 2.7.

[0077] Avantageusement le mélange polymérique constituant la deuxième couche G est identique au mélange polymérique constituant la deuxième couche S.

25 [0078] Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, lesdites au moins deux couches de sommet de travail ayant des largeurs axiales inégales, la distance d entre l'extrémité de la couche de travail axialement la plus étroite et la couche de travail séparée de la couche de travail axialement la plus étroite par la couche C de mélange caoutchouteux est telle que  $1.1\phi < d < 2.2\phi$ ,  $\phi$  étant le diamètre des éléments de renforcement de ladite au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels et, dans un plan méridien,

l'épaisseur de la couche C de mélange caoutchouteux étant sensiblement constante sur la largeur axiale comprise entre l'extrémité axialement intérieure de la couche C et l'extrémité de la couche de travail axialement la plus étroite.

[0079] Au sens de l'invention, la distance d est mesurée dans un plan méridien de câble à câble, c'est-à-dire entre le câble d'une première couche de travail et le câble d'une seconde couche de travail, selon une direction sensiblement perpendiculaire aux surfaces de la couche C. En d'autres termes, cette distance d englobe l'épaisseur de la première couche C et les épaisseurs respectives des mélanges caoutchouteux de calandrage, radialement extérieure aux câbles de la couche de travail radialement intérieure et radialement intérieure aux câbles de la couche de travail radialement extérieure.

[0080] Au sens de l'invention, l'épaisseur de la couche C de mélange caoutchouteux est mesurée entre les deux surfaces de ladite couche C selon la projection orthogonale d'un point d'une surface sur l'autre surface.

[0081] Au sens de l'invention, l'épaisseur de la couche C de mélange caoutchouteux est sensiblement constante signifie qu'elle ne varie pas de plus de 0.3 mm. Ces variations d'épaisseur ne sont dues qu'aux phénomènes de fluage lors de la fabrication et de la cuisson du pneumatique. La couche C sous forme de semi-fini, c'est-à-dire en tant qu'éléments prêt à être utilisé pour la réalisation d'un pneumatique présente ainsi avantageusement une épaisseur constante.

[0082] Les différentes mesures d'épaisseur sont effectuées sur une coupe transversale d'un pneumatique, le pneumatique étant donc dans un état non gonflé.

[0083] Les conceptions de pneumatiques plus usuelles, prévoient des couches de mélange caoutchouteux disposées entre les extrémités des couches de sommet de travail avec des épaisseurs plus importantes notamment au niveau de l'extrémité de la couche de travail la plus étroite et avec un profil d'épaisseur non homogène lorsque celui-ci est vu selon une coupe méridienne du pneumatique pour autoriser une telle épaisseur et pour éviter de trop perturber l'environnement de l'extrémité de la couche de travail la plus étroite. Comme expliqué précédemment, la présence de cette couche de mélange caoutchouteux permet notamment de limiter les contraintes de cisaillement entre les

extrémités des couches de sommet de travail, les rigidités circonférentielles desdites couches de sommet de travail étant nulles à leur extrémité. La distance entre l'extrémité de la couche de travail axialement la plus étroite et la couche de travail séparée de la couche de travail axialement la plus étroite par la couche de mélange caoutchouteux, mesurée conformément à la définition de d ci-dessus, est habituellement supérieure à 3.3 mm. Cela correspond à une épaisseur de la couche de mélange caoutchouteux d'au moins 2.5 mm alors que, généralement, son épaisseur tend à chacune de ses extrémités vers une valeur inférieure à 0.5 mm.

**[0084]** Les inventeurs ont su mettre en évidence que la présence d'au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels permet de conserver des performances notamment en termes d'endurance mais également en termes d'usure satisfaisantes avec une couche C de mélange caoutchouteux d'épaisseur sensiblement constante sur la largeur axiale comprise entre l'extrémité axialement intérieure de la couche C et l'extrémité de la couche de travail axialement la plus étroite et telle que la distance d soit comprise entre  $1.1\phi$  et  $2.2\phi$ . Il semble en effet, que la présence de la couche d'éléments de renforcement circonférentiels contribue suffisamment à la reprise d'au moins une partie de la tension circonférentielle notamment lors du passage dans l'aire de contact pour diminuer les contraintes de cisaillement entre les extrémités des couches de sommet de travail.

**[0085]** En outre, la combinaison de la couche d'éléments de renforcement circonférentiels et de la première couche S, voire de la deuxième couche G, présentant un module complexe de cisaillement  $G^*$ , mesuré à 10% et 60 °C sur le cycle retour, supérieur à 1.35 MPa permet encore de conserver des propriétés de rigidité de dérive du pneumatique satisfaisantes lorsque la couche C présente une épaisseur sensiblement constante sur la largeur axiale comprise entre l'extrémité axialement intérieure de la couche C et l'extrémité de la couche de travail axialement la plus étroite et telle que la distance d soit comprise entre  $1.1\phi$  et  $2.2\phi$ , une telle caractéristique relative à l'épaisseur de la couche C étant pénalisante quant aux propriétés de rigidité de dérive du pneumatique.

**[0086]** Par ailleurs, la couche C de mélange caoutchouteux se présente ainsi avantageusement à l'état de semi-fini sous forme d'une couche d'épaisseur constante qui est simple de fabrication et en outre qui peut être stockée simplement. En effet, les couches habituellement utilisées telles que décrites précédemment qui présentent en coupe une forme

avec des variations d'épaisseur sont d'une part plus difficiles réaliser et d'autre part plus difficile à stocker. En effet, les variations d'épaisseur créent des problèmes de stockage, ces semi-finis étant le plus souvent stockés sous forme d'enroulement sur bobine. La couche C selon l'invention se présente à l'état de produit semi-fini avec une section présentant un profil sensiblement plat comparée aux couches habituellement utilisées qui se présentent à l'état de produit semi-fini avec une section présentant un profil sensiblement arrondi.

**[0087]** La fabrication et le stockage de la couche de mélange caoutchouteux conforme à l'invention sous forme de semi-fini étant ainsi tellement simplifiés, il peut en résulter des coûts moindres pour la fabrication du pneumatique, celui-ci pouvant pourtant comporter une couche d'éléments de renforcement circonférentiels en plus en comparaison d'un pneumatique usuel.

**[0088]** Selon un mode de réalisation avantageux de l'invention, la couche de sommet de travail axialement la plus large est radialement à l'intérieur des autres couches de sommet de travail.

**[0089]** De préférence encore, la largeur axiale D de la couche de mélange caoutchouteux C comprise entre l'extrémité axialement la plus à l'intérieure de ladite couche de mélange caoutchouteux C et l'extrémité de la couche de sommet de travail axialement la moins large est telle que :

$$3.\phi_2 \leq D \leq 25.\phi_2$$

avec  $\phi_2$ , diamètre des éléments de renforcement de la couche de sommet de travail axialement la moins large. Une telle relation définit une zone d'engagement entre la couche de mélange caoutchouteux C et la couche de sommet de travail axialement la moins large. Un tel engagement en dessous d'une valeur égale à trois fois le diamètre des éléments de renforcement de la couche de travail axialement la moins large peut ne pas être suffisant pour obtenir un découplage des couche de sommet de travail pour notamment obtenir une atténuation des sollicitations en extrémité de la couche de sommet de travail axialement la moins large. Une valeur de cet engagement supérieure à vingt fois le diamètre des éléments de renforcement de la couche de travail axialement la moins large peut conduire à une diminution trop importante de la rigidité de dérive de l'armature de sommet du pneumatique.

[0090] De préférence, la largeur axiale D de la couche de mélange caoutchouteux C comprise entre l'extrémité axialement la plus à l'intérieure de ladite couche de mélange caoutchouteux C et l'extrémité de la couche de sommet de travail axialement la moins large est supérieure à 5 mm.

5 [0091] Les différentes mesures d'épaisseur sont effectuées sur une coupe transversale d'un pneumatique, le pneumatique étant donc dans un état non gonflé.

[0092] Selon une variante de réalisation de l'invention, le module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement d'au moins une couche de calandrage d'au moins une couche de sommet de travail est supérieur à 9 MPa et la valeur maximale de  $\tan(\delta)$ , noté  $\tan(\delta)_{\max}$ ,  
10 de ladite au moins une couche de calandrage d'au moins une couche de sommet de travail est inférieure à 0.100.

[0093] Habituellement, les valeurs de  $\tan(\delta)_{\max}$  des couches de calandrage des couches de sommet de travail sont supérieures à 0.120 et les couches de calandrage présentent une meilleure cohésion.

15 [0094] Comme dans le cas de la couche C, les inventeurs ont su mettre en évidence que la cohésion des couches de calandrages des couches de sommet de travail, lorsqu'elles présentent un module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement supérieur à 9 MPa et une valeur de  $\tan(\delta)_{\max}$  inférieure à 0.100, reste satisfaisante.

[0095] Les inventeurs ont encore mis en évidence que la présence d'au moins une  
20 couche d'éléments de renforcement circonférentiels contribue à une moindre évolution de la cohésion des couches de calandrage des couches de sommet de travail. En effet, les inventeurs ont constaté que la présence d'au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels qui contribue à limiter les mises en compression des éléments de renforcement des couches de sommet de travail notamment lorsque le véhicule suit un  
25 parcours sinueux et en outre, limite les augmentations de température et conduit ainsi à une faible évolution de la cohésion des couches de calandrages. Les inventeurs considèrent ainsi que la cohésion des couches de calandrages des couches de sommet de travail, plus faible que ce qui existe dans les conceptions de pneumatiques plus usuelles, est satisfaisante dans la conception du pneumatique selon l'invention.

[0096] Comme dans le cas de la couche de mélange caoutchouteux C, l'utilisation d'au moins une couche de calandrage d'au moins une couche de sommet de travail dont le module d'élasticité est supérieur ou égal à 9 MPa et dont la valeur  $\tan(\delta)_{\max}$  est inférieure à 0.100 va permettre d'améliorer les propriétés du pneumatique en matière de résistance au roulement en conservant des propriétés d'endurance satisfaisante.

[0097] Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, ladite au moins une couche de calandrage d'au moins une couche de sommet de travail est un mélange élastomérique à base de caoutchouc naturel ou de polyisoprène synthétique à majorité d'enchaînements cis-1,4 et éventuellement d'au moins un autre élastomère diénique, le caoutchouc naturel ou le polyisoprène synthétique en cas de coupage étant présent à un taux majoritaire par rapport au taux de l'autre ou des autres élastomères diéniques utilisés et d'une charge renforçante constituée :

- a) soit par du noir de carbone de surface spécifique BET inférieure à 60 m<sup>2</sup>/g, quelle que soit son indice de structure, employé à un taux compris entre 40 et 100 pce, et de préférence entre 60 et 90 pce,
- b) soit par une charge blanche de type silice et/ou alumine comportant des fonctions de surface SiOH et/ou AlOH choisie dans le groupe formé par les silices précipitées ou pyrogénées, les aluminés ou les aluminosilicates ou bien encore les noirs de carbone modifiés en cours ou après la synthèse de surface spécifique BET comprise entre 30 et 260 m<sup>2</sup>/g employée à un taux compris entre 40 et 100 pce, et de préférence entre 60 et 90 pce,
- c) soit par un coupage de noir de carbone décrit en (a) et d'une charge blanche décrite en (b), dans lequel le taux global de charge est compris entre 40 et 100 pce, et de préférence entre 60 et 90 pce.

[0098] Dans le cas d'utilisation de charge claire ou charge blanche, il est nécessaire d'utiliser un agent de couplage et/ou de recouvrement choisi parmi les agents connus de l'homme de l'art. Comme exemples d'agents de couplage préférentiel, on peut citer les alcoxysilanes sulfurés du type polysulfure de bis-(3-trialcoxysilylpropyle), et parmi ceux-ci notamment le tétrasulfure de bis-(3-triéthoxysilylpropyle) commercialisé par la Société

DEGUSSA sous les dénominations Si69 pour le produit liquide pur et X50S pour le produit solide (coupage 50/50 en poids avec du noir N330). Comme exemples d'agents de recouvrement on peut citer un alcool gras, un alkylalcoxysilane tel qu'un hexadécyltriméthoxy ou triéthoxysilane respectivement commercialisés par la Société  
5 DEGUSSA sous les dénominations Si116 et Si216, la diphenylguanidine, un polyéthylène glycol, une huile silicone éventuellement modifiée au moyen des fonctions OH ou alcoxy. L'agent de recouvrement et/ou de couplage est utilisé dans un rapport pondéral par rapport à la charge  $\geq$  à 1/100 et  $\leq$  à 20/100, et préférentiellement compris entre 2/100 et 15/100 lorsque la charge claire représente la totalité de la charge renforçante et compris entre 1/100  
10 et 20/100 lorsque la charge renforçante est constituée par un coupage de noir de carbone et de charge claire.

[0099] Comme autres exemples de charges renforçantes ayant la morphologie et les fonctions de surface SiOH et/ou AlOH des matières de type silice et/ou alumine précédemment décrites et pouvant être utilisées selon l'invention en remplacement partiel ou  
15 total de celles-ci, on peut citer les noirs de carbone modifiés soit au cours de la synthèse par addition à l'huile d'alimentation du four d'un composé du silicium et/ou d'aluminium soit après la synthèse en ajoutant, à une suspension aqueuse de noir de carbone dans une solution de silicate et/ou d'aluminate de sodium, un acide de façon à recouvrir au moins partiellement la surface du noir de carbone de fonctions SiOH et/ou AlOH. Comme  
20 exemples non limitatifs de ce type de charges carbonées avec en surface des fonctions SiOH et/ou AlOH, on peut citer les charges type CSDP décrites dans la Conférence N° 24 du Meeting ACS, Rubber Division, Anaheim, Californie, 6-9 mai 1997 ainsi que celles de la demande de brevet EP-A-0 799 854.

[00100] Lorsqu'une charge claire est utilisée comme seule charge renforçante, les  
25 propriétés d'hystérèse et de cohésion sont obtenues en utilisant une silice précipitée ou pyrogénée, ou bien une alumine précipitée ou bien encore un aluminosilicate de surface spécifique BET comprise entre 30 et 260 m<sup>2</sup>/g. Comme exemples non limitatifs de ce type de charge, on peut citer les silices KS404 de la Société Akzo, Ultrasil VN2 ou VN3 et BV3370GR de la Société Degussa, Zeopol 8745 de la Société Huber, Zeosil 175MP ou  
30 Zeosil 1165MP de la société Rhodia, HI-SIL 2000 de la Société PPG etc...

[00101] Parmi les élastomères diéniques pouvant être utilisés en coupage avec le caoutchouc naturel ou un polyisoprène synthétique à majorité d'enchaînements cis-1,4, on peut citer un polybutadiène (BR) de préférence à majorité d'enchaînements cis-1,4, un copolymère styrène-butadiène (SBR) solution ou émulsion, un copolymère butadiène-isoprène (BIR) ou bien encore un terpolymère styrène-butadiène-isoprène (SBIR). Ces élastomères peuvent être des élastomères modifiés en cours de polymérisation ou après polymérisation au moyen d'agents de ramification comme un divinylbenzène ou d'agents d'étoilage tels que des carbonates, des halogénoétains, des halogénosiliciums ou bien encore au moyen d'agents de fonctionnalisation conduisant à un greffage sur la chaîne ou en bout de chaîne de fonctions oxygénées carbonyle, carboxyle ou bien d'une fonction amine comme par exemple par action de la diméthyl ou de la diéthylamino benzophénone. Dans le cas de coupages de caoutchouc naturel ou de polyisoprène synthétique à majorité d'enchaînements cis-1,4 avec un ou plusieurs des élastomères diéniques, mentionnés ci-dessus, le caoutchouc naturel ou le polyisoprène synthétique est utilisé de préférence à un taux majoritaire et plus préférentiellement à un taux supérieur à 70 pce.

[00102] Comme dans le cas de la couche C, le choix de la charge renforçante intervenant dans le mélange caoutchouteux constituant ladite au moins une couche de calandrage d'au moins une couche de sommet de travail contribue à la fois à l'obtention des valeurs de module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement et à l'obtention des valeurs de  $\tan(\delta)_{\max}$ . Toutefois, dans les plages de valeurs précitées concernant les dites charges renforçantes, l'homme du métier saura encore adapter les quantités d'autres constituants usuels, tels que les agents vulcanisant ou bien les dérivés de cobalt, ou adapter les procédés de mélangeages pour obtenir les valeurs de module d'élasticité et de  $\tan(\delta)_{\max}$  précitées.

[00103] Avantageusement encore selon l'invention, la différence entre le module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement de la couche C et le module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement de ladite au moins une couche de calandrage d'au moins une couche de sommet de travail est inférieure à 2 MPa.

[00104] Selon un premier mode de réalisation, le module d'élasticité du calandrage d'au moins la couche de sommet de travail la plus étroite est supérieure à celui de ladite couche de mélange caoutchouteux C pour que l'empilement desdites couches présente un gradient

de module d'élasticité favorable à la lutte contre l'amorce de fissuration en extrémité de la couche de sommet de travail la plus étroite.

[00105] Selon un deuxième mode de réalisation, les modules d'élasticité du calandrage des couches de sommet de travail et de celui de ladite couche de mélange caoutchouteux C sont identiques et avantageusement encore les mélanges caoutchouteux sont les mêmes pour simplifier les conditions industrielles de fabrication du pneumatique.

[00106] Selon une réalisation avantageuse de l'invention, lesdits éléments de renforcement d'au moins une couche de sommet de travail sont des câbles à couches saturées, au moins une couche interne étant gainée d'une couche constituée d'une composition polymérique telle qu'une composition de caoutchouc non réticulable, réticulable ou réticulée, de préférence à base d'au moins un élastomère diénique.

[00107] Des câbles dits "à couches" ("*layered cords*") ou "multicouches" sont des câbles constitués d'un noyau central et d'une ou plusieurs couches de brins ou fils pratiquement concentriques disposées autour de ce noyau central.

[00108] Au sens de l'invention, une couche saturée d'un câble à couches est une couche constituée de fils dans laquelle il n'existe pas suffisamment de place pour y ajouter au moins un fil supplémentaire.

[00109] Les inventeurs ont su mettre en évidence que la présence des câbles tels qu'ils viennent d'être décrits comme éléments de renforcement des couches de sommet de travail permettent de contribuer à de meilleures performances en termes d'endurance.

[00110] En effet, il apparaît comme expliqué ci-dessus que les mélanges caoutchouteux des calandrages des couches de travail permettent de diminuer la résistance au roulement du pneumatique. Cela se traduit par une baisse des températures de ces mélanges caoutchouteux, lors de l'utilisation du pneumatique, qui peut entraîner une moindre protection des éléments de renforcement vis-à-vis des phénomènes d'oxydation dans certains cas d'utilisation du pneumatique. En effet, les propriétés des mélanges caoutchouteux relatives au blocage de l'oxygène diminuent avec la température et la présence d'oxygène peut conduire à une dégénérescence progressive des propriétés

mécaniques des câbles, pour les conditions de roulage les plus sévères, et peut altérer la durée de vie de ces câbles.

[00111] La présence de la gaine de caoutchouc au sein des câbles décrits ci-dessus vient compenser cet éventuel risque d'oxydation des éléments de renforcement, la gaine contribuant au blocage de l'oxygène.

[00112] Par l'expression "composition à base d'au moins un élastomère diénique", on entend de manière connue que la composition comprend à titre majoritaire (i.e. selon une fraction massique supérieure à 50%) ce ou ces élastomères diéniques.

[00113] On notera que la gaine selon l'invention s'étend d'une manière continue autour de la couche qu'elle recouvre (c'est-à-dire que cette gaine est continue dans la direction "orthoradiale" du câble qui est perpendiculaire à son rayon), de manière à former un manchon continu de section transversale qui est avantageusement pratiquement circulaire.

[00114] On notera également que la composition de caoutchouc de cette gaine peut être réticulable ou réticulée, c'est-à-dire qu'elle comprend par définition un système de réticulation adapté pour permettre la réticulation de la composition lors de sa cuisson (i.e., son durcissement et non sa fusion) ; ainsi, cette composition de caoutchouc peut être qualifiée d'infusible, du fait qu'elle ne peut pas être fondue par chauffage à quelque température que ce soit.

[00115] Par élastomère ou caoutchouc "diénique", on entend de manière connue un 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).

[00116] De préférence, le système de réticulation de la gaine de caoutchouc est un système dit de vulcanisation, c'est-à-dire à base de soufre (ou d'un agent donneur de soufre) et d'un accélérateur primaire de vulcanisation. A ce système de vulcanisation de base peuvent s'ajouter divers accélérateurs secondaires ou activateurs de vulcanisation connus.

[00117] La composition de caoutchouc de la gaine selon l'invention peut comprendre, outre ledit système de réticulation, tous les ingrédients habituels utilisables dans les

compositions de caoutchouc pour pneumatiques, tels que des charges renforçantes à base de noir de carbone et/ou d'une charge inorganique renforçante telle que silice, des agents anti-vieillessement, par exemple des antioxydants, des huiles d'extension, des plastifiants ou des agents facilitant la mise en œuvre des compositions à l'état cru, des accepteurs et donneurs de méthylène, des résines, des bismaléimides, des systèmes promoteurs d'adhésion connus du type "RFS" (résorcinol-formaldéhyde-silice) ou sels métalliques, notamment des sels de cobalt.

[00118] A titre préférentiel, la composition de cette gaine est choisie identique à la composition utilisée pour la couche de calandrage de la couche de sommet de travail que les câbles sont destinés à renforcer. Ainsi, il n'y a aucun problème d'incompatibilité éventuelle entre les matériaux respectifs de la gaine et de la matrice de caoutchouc.

[00119] Selon une variante de l'invention, lesdits câbles d'au moins une couche de sommet de travail sont des câbles à couches de construction [L+M], comportant une première couche C1 à L fils de diamètre  $d_1$  enroulés ensemble en hélice selon un pas  $p_1$  avec L allant de 1 à 4, entourée d'au moins une couche intermédiaire C2 à M fils de diamètre  $d_2$  enroulés ensemble en hélice selon un pas  $p_2$  avec M allant de 3 à 12, une gaine constituée d'une composition de caoutchouc non réticulable, réticulable ou réticulée à base d'au moins un élastomère diénique, recouvrant, dans la construction ladite première couche C1.

[00120] De préférence, le diamètre des fils de la première couche de la couche interne (C1) est compris entre 0.10 et 0.5 mm et le diamètre des fils de la couche externe (C2) est compris entre 0.10 et 0.5 mm.

[00121] De préférence encore, le pas d'hélice d'enroulement desdits fils de la couche externe (C2) est compris entre 8 et 25 mm.

[00122] Au sens de l'invention, le pas d'hélice représente la longueur, mesurée parallèlement à l'axe du câble, au bout de laquelle un fil ayant ce pas effectue un tour complet autour de l'axe du câble ; ainsi, si l'on sectionne l'axe par deux plans perpendiculaires audit axe et séparés par une longueur égale au pas d'un fil d'une couche constitutive du câble, l'axe de ce fil a dans ces deux plans la même position sur les deux cercles correspondant à la couche du fil considéré.

[00123] Avantageusement, le câble présente l'une, et plus préférentiellement encore l'ensemble des caractéristiques suivantes qui est vérifié(e) :

- la couche C2 est une couche saturée, c'est-à-dire qu'il n'existe pas suffisamment de place dans cette couche pour y ajouter au moins un (N+1)<sup>ème</sup> fil de diamètre  $d_2$ , N représentant alors le nombre maximal de fils enroulables en une couche autour de la couche C1 ;
- la gaine de caoutchouc recouvre en outre la couche interne C1 et/ou sépare les fils deux à deux adjacents de la couche externe C2 ;
- la gaine de caoutchouc recouvre pratiquement la demi-circonférence radialement intérieure de chaque fil de la couche C2, de telle sorte qu'elle sépare les fils deux à deux adjacents de cette couche C2.

[00124] De préférence, la gaine de caoutchouc présente une épaisseur moyenne allant de 0,010 mm à 0,040 mm.

[00125] D'une manière générale, lesdits câbles selon l'invention peuvent être réalisés avec tout type de fils métalliques, notamment en acier, par exemple des fils en acier au carbone et/ou des fils en acier inoxydable. On utilise de préférence un acier au carbone, mais il est bien entendu possible d'utiliser d'autres aciers ou d'autres alliages.

[00126] Lorsqu'un acier au carbone est utilisé, sa teneur en carbone (% en poids d'acier) est de préférence comprise entre 0,1% et 1,2%, plus préférentiellement de 0,4% à 1,0% ; ces teneurs représentent un bon compromis entre les propriétés mécaniques requises pour le pneumatique et la faisabilité du fil. Il est à noter qu'une teneur en carbone comprise entre 0,5% et 0,6% rend de tels aciers finalement moins coûteux car plus faciles à tréfiler. Un autre mode avantageux de réalisation de l'invention peut consister aussi, selon les applications visées, à utiliser des aciers à faible teneur en carbone, comprise par exemple entre 0,2% et 0,5%, en raison notamment d'un coût plus bas et d'une plus grande facilité de tréfilage.

[00127] Lesdits câbles selon l'invention pourront être obtenus selon différentes techniques connues de l'homme du métier, par exemple en deux étapes, tout d'abord par gainage via une tête d'extrusion de l'âme ou couches C1, étape suivie dans un deuxième temps d'une opération finale de câblage ou retordage des M fils restants (couche C2) autour

de la couche C1 ainsi gainée. Le problème de collant à l'état cru posé par la gaine de caoutchouc, lors des opérations intermédiaires éventuelles de bobinage et débobinage pourra être résolu de manière connue par l'homme du métier, par exemple par l'emploi d'un film intercalaire en matière plastique.

5       **[00128]**     De tels câbles d'au moins une couche de sommet de travail sont par exemple choisis parmi les câbles décrits dans les demandes de brevet WO 2006/013077 et WO 2009/083212.

**[00129]**     Selon une variante avantageuse de réalisation de l'invention, la couche d'éléments de renforcement circonférentiels présente une largeur axiale supérieure à  $0.5 \times S$ .

10       **[00130]**     S est la largeur maximale axiale du pneumatique, lorsque ce dernier est monté sur sa jante de service et gonflé à sa pression recommandée.

**[00131]**     Les largeurs axiales des couches d'éléments de renforcement sont mesurées sur une coupe transversale d'un pneumatique, le pneumatique étant donc dans un état non gonflé.

15       **[00132]**     Selon une réalisation préférée de l'invention, au moins deux couches de sommet de travail présentant des largeurs axiales différentes, la différence entre la largeur axiale de la couche de sommet de travail axialement la plus large et la largeur axiale de la couche de sommet de travail axialement la moins large étant comprise entre 10 et 30 mm.

20       **[00133]**     Selon un mode de réalisation préférée de l'invention, la couche d'éléments de renforcement circonférentiels est radialement disposée entre deux couches de sommet de travail.

25       **[00134]**     Selon ce mode de réalisation de l'invention, la couche d'éléments de renforcement circonférentiels permet de limiter de manière plus importante les mises en compression des éléments de renforcement de l'armature de carcasse qu'une couche semblable mise en place radialement à l'extérieur des couches de travail. Elle est préférablement radialement séparée de l'armature de carcasse par au moins une couche de travail de façon à limiter les sollicitations desdits éléments de renforcement et ne pas trop les fatiguer.

[00135] Avantageusement encore selon l'invention, les largeurs axiales des couches de sommet de travail radialement adjacentes à la couche d'éléments de renforcement circonférentiels sont supérieures à la largeur axiale de ladite couche d'éléments de renforcement circonférentiels et de préférence, lesdites couches de sommet de travail adjacentes à la couche d'éléments de renforcement circonférentiels sont de part et d'autre du plan équatorial et dans le prolongement axial immédiat de la couche d'éléments de renforcement circonférentiels couplées sur une largeur axiale, pour être ensuite découplées par ladite couche de mélange de caoutchouc C au moins sur le restant de la largeur commune aux dites deux couches de travail.

[00136] La présence de tels couplages entre les couches de sommet de travail adjacentes à la couche d'éléments de renforcement circonférentiels permettent la diminution des contraintes de tension agissant sur les éléments circonférentiels axialement le plus à l'extérieur et situé le plus près du couplage.

[00137] Selon un mode de réalisation avantageux de l'invention, les éléments de renforcement d'au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels sont des éléments de renforcement métalliques présentant un module sécant à 0,7 % d'allongement compris entre 10 et 120 GPa et un module tangent maximum inférieur à 150 GPa.

[00138] Selon une réalisation préférée, le module sécant des éléments de renforcement à 0,7 % d'allongement est inférieur à 100 GPa et supérieur à 20 GPa, de préférence compris entre 30 et 90 GPa et de préférence encore inférieur à 80 GPa.

[00139] De préférence également, le module tangent maximum des éléments de renforcement est inférieur à 130 GPa et de préférence encore inférieur à 120 GPa.

[00140] Les modules exprimés ci-dessus sont mesurés sur une courbe contrainte de traction en fonction de l'allongement déterminée avec une précontrainte de 20 MPa ramenée à la section de métal de l'élément de renforcement, la contrainte de traction correspondant à une tension mesurée ramenée à la section de métal de l'élément de renforcement.

[00141] Les modules des mêmes éléments de renforcement peuvent être mesurés sur une courbe contrainte de traction en fonction de l'allongement déterminée avec une

précontrainte de 10 MPa ramenée à la section globale de l'élément de renforcement, la contrainte de traction correspondant à une tension mesurée ramenée à la section globale de l'élément de renforcement. La section globale de l'élément de renforcement est la section d'un élément composite constitué de métal et de caoutchouc, ce dernier ayant notamment pénétré l'élément de renforcement pendant la phase de cuisson du pneumatique.

[00142] Selon cette formulation relative à la section globale de l'élément de renforcement, les éléments de renforcement des parties axialement extérieures et de la partie centrale d'au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels sont des éléments de renforcement métalliques présentant un module sécant à 0,7 % d'allongement compris entre 5 et 60 GPa et un module tangent maximum inférieur à 75 GPa.

[00143] Selon une réalisation préférée, le module sécant des éléments de renforcement à 0,7 % d'allongement est inférieur à 50 GPa et supérieur à 10 GPa, de préférence compris entre 15 et 45 GPa et de préférence encore inférieure à 40 GPa.

[00144] De préférence également, le module tangent maximum des éléments de renforcement est inférieur à 65 GPa et de préférence encore inférieur à 60 GPa.

[00145] Selon un mode de réalisation préféré, les éléments de renforcements d'au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels sont des éléments de renforcement métalliques présentant une courbe contrainte de traction en fonction de l'allongement relatif ayant des faibles pentes pour les faibles allongements et une pente sensiblement constante et forte pour les allongements supérieurs. De tels éléments de renforcement de la nappe additionnelle sont habituellement dénommés éléments "bi-module".

[00146] Selon une réalisation préférée de l'invention, la pente sensiblement constante et forte apparaît à partir d'un allongement relatif compris entre 0,1% et 0,5%.

[00147] Les différentes caractéristiques des éléments de renforcement énoncées ci-dessus sont mesurées sur des éléments de renforcement prélevés sur des pneumatiques.

[00148] Des éléments de renforcement plus particulièrement adaptés à la réalisation d'au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels selon l'invention sont par exemple des assemblages de formule 21.23, dont la construction est  $3 \times (0.26 + 6 \times 0.23)$

4.4/6.6 SS ; ce câble à torons est constitué de 21 fils élémentaires de formule  $3 \times (1+6)$ , avec 3 torons tordus ensembles chacun constitué de 7 fils, un fil formant une âme centrale de diamètre égal à 26/100 mm et 6 fils enroulés de diamètre égal à 23/100 mm. Un tel câble présente un module sécant à 0,7% égal à 45 GPa et un module tangent maximum égal à 98 GPa, mesurés sur une courbe contrainte de traction en fonction de l'allongement déterminée avec une précontrainte de 20 MPa ramenée à la section de métal de l'élément de renforcement, la contrainte de traction correspondant à une tension mesurée ramenée à la section de métal de l'élément de renforcement. Sur une courbe contrainte de traction en fonction de l'allongement déterminée avec une précontrainte de 10 MPa ramenée à la section globale de l'élément de renforcement, la contrainte de traction correspondant à une tension mesurée ramenée à la section globale de l'élément de renforcement, ce câble de formule 21.23 présente un module sécant à 0,7% égal à 23 GPa et un module tangent maximum égal à 49 GPa.

[00149] De la même façon, un autre exemple d'éléments de renforcement est un assemblage de formule 21.28, dont la construction est  $3 \times (0.32 + 6 \times 0.28)$  6.2/9.3 SS. Ce câble présente un module sécant à 0,7% égal à 56 GPa et un module tangent maximum égal à 102 GPa, mesurés sur une courbe contrainte de traction en fonction de l'allongement déterminée avec une précontrainte de 20 MPa ramenée à la section de métal de l'élément de renforcement, la contrainte de traction correspondant à une tension mesurée ramenée à la section de métal de l'élément de renforcement. Sur une courbe contrainte de traction en fonction de l'allongement déterminée avec une précontrainte de 10 MPa ramenée à la section globale de l'élément de renforcement, la contrainte de traction correspondant à une tension mesurée ramenée à la section globale de l'élément de renforcement, ce câble de formule 21.28 présente un module sécant à 0,7% égal à 27 GPa et un module tangent maximum égal à 49 GPa.

[00150] L'utilisation de tels éléments de renforcement dans au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels permet notamment de conserver des rigidités de la couche satisfaisante y compris après les étapes de conformation et de cuisson dans des procédés de fabrication usuels.

[00151] Selon un deuxième mode de réalisation de l'invention, les éléments de renforcement circonférentiels peuvent être formées d'éléments métalliques inextensibles et

coupés de manière à former des tronçons de longueur très inférieure à la circonférence de la couche la moins longue, mais préférentiellement supérieure à 0,1 fois ladite circonférence, les coupures entre tronçons étant axialement décalées les unes par rapport aux autres. De préférence encore, le module d'élasticité à la traction par unité de largeur de la couche additionnelle est inférieur au module d'élasticité à la traction, mesuré dans les mêmes conditions, de la couche de sommet de travail la plus extensible. Un tel mode de réalisation permet de conférer, de manière simple, à la couche d'éléments de renforcement circonférentiels un module pouvant facilement être ajusté (par le choix des intervalles entre tronçons d'une même rangée), mais dans tous les cas plus faible que le module de la couche constituée des mêmes éléments métalliques mais continus, le module de la couche additionnelle étant mesuré sur une couche vulcanisée d'éléments coupés, prélevée sur le pneumatique.

**[00152]** Selon un troisième mode de réalisation de l'invention, les éléments de renforcement circonférentiels sont des éléments métalliques ondulés, le rapport  $a/\lambda$  de l'amplitude d'ondulation sur la longueur d'onde étant au plus égale à 0,09. De préférence, le module d'élasticité à la traction par unité de largeur de la couche additionnelle est inférieur au module d'élasticité à la traction, mesuré dans les mêmes conditions, de la couche de sommet de travail la plus extensible.

**[00153]** Les éléments métalliques sont préférentiellement des câbles d'acier.

**[00154]** Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, les éléments de renforcement des couches de sommet de travail sont des câbles métalliques inextensibles.

**[00155]** L'invention prévoit encore avantageusement pour diminuer les contraintes de tension agissant sur les éléments circonférentiels axialement le plus à l'extérieur que l'angle formé avec la direction circonférentielle par les éléments de renforcement des couches de sommet de travail est inférieur à 30° et de préférence inférieur à 25°.

**[00156]** Une réalisation préférée de l'invention prévoit encore que l'armature de sommet est complétée radialement à l'extérieur par au moins une couche supplémentaire, dite de protection, d'éléments de renforcement dits élastiques, orientés par rapport à la

direction circonférentielle avec un angle compris entre 10° et 45° et de même sens que l'angle formé par les éléments de la couche de travail qui lui est radialement adjacente.

[00157] La couche de protection peut avoir une largeur axiale inférieure à la largeur axiale de la couche de travail la moins large. Ladite couche de protection peut aussi avoir une largeur axiale supérieure à la largeur axiale de la couche de travail la moins large, telle qu'elle recouvre les bords de la couche de travail la moins large et, dans le cas de la couche radialement supérieure comme étant le moins large, telle qu'elle soit couplée, dans le prolongement axial de l'armature additionnelle, avec la couche de sommet de travail la plus large sur une largeur axiale, pour être ensuite, axialement à l'extérieur, découplée de ladite couche de travail la plus large par des profilés d'épaisseur au moins égale à 2 mm. La couche de protection formée d'éléments de renforcement élastiques peut, dans le cas cité ci-dessus, être d'une part éventuellement découplée des bords de ladite couche de travail la moins large par des profilés d'épaisseur sensiblement moindre que l'épaisseur des profilés séparant les bords des deux couches de travail, et avoir d'autre part une largeur axiale inférieure ou supérieure à la largeur axiale de la couche de sommet la plus large.

[00158] Selon l'un quelconque des modes de réalisation de l'invention évoqué précédemment, l'armature de sommet peut encore être complétée, radialement à l'intérieur entre l'armature de carcasse et la couche de travail radialement intérieure la plus proche de ladite armature de carcasse, par une couche de triangulation d'éléments de renforcement inextensibles métalliques en acier faisant, avec la direction circonférentielle, un angle supérieur à 60° et de même sens que celui de l'angle formé par les éléments de renforcement de la couche radialement la plus proche de l'armature de carcasse.

[00159] Le pneumatique selon l'invention tel qu'il vient d'être décrit présente donc une résistance au roulement améliorée par rapport aux pneumatiques usuels et des propriétés de rigidité de dérive améliorées et donc des performances en termes d'endurance renforcées quelles que soient les conditions de roulage.

[00160] D'autres détails et caractéristiques avantageux de l'invention ressortiront ci-après de la description des exemples de réalisation de l'invention en référence aux figures 1 à 3 qui représentent :

- figure 1, une vue méridienne d'un schéma d'un pneumatique selon un mode de réalisation de l'invention,
- figure 2, une vue méridienne d'un schéma d'un pneumatique selon un deuxième mode de réalisation de l'invention,
- 5 - figure 3, une vue méridienne d'un schéma d'un pneumatique selon un troisième mode de réalisation de l'invention.

[00161] Les figures ne sont pas représentées à l'échelle pour en simplifier la compréhension. Les figures ne représentent qu'une demi-vue d'un pneumatique qui se prolonge de manière symétrique par rapport à l'axe XX' qui représente le plan médian  
10 circonférentiel, ou plan équatorial, d'un pneumatique.

[00162] Sur la figure 1, le pneumatique 1, de dimension 315/70 R 22.5, a un rapport de forme H/S égal à 0,70, H étant la hauteur du pneumatique 1 sur sa jante de montage et S sa largeur axiale maximale. Ledit pneumatique 1 comprend une armature de carcasse radiale 2 ancrée dans deux bourrelets, non représentés sur la figure. L'armature de carcasse est  
15 formée d'une seule couche de câbles métalliques. Cette armature de carcasse 2 est frettée par une armature de sommet 4, formée radialement de l'intérieur à l'extérieur :

- d'une première couche de travail 41 formée de câbles métalliques inextensibles 9.28 non frettés, continus sur toute la largeur de la nappe, orientés d'un angle égal à 24°,
- d'une couche d'éléments de renforcement circonférentiels 42 formée de câbles  
20 métalliques en acier 21x23, de type "bi-module",
- d'une seconde couche de travail 43 formée de câbles métalliques inextensibles 9.28 non frettés, continus sur toute la largeur de la nappe, orientés d'un angle égal à 24° et croisés avec les câbles métalliques de la couche 41,
- d'une couche de protection 44 formées de câbles métalliques élastiques 6.35.

25 [00163] L'armature de sommet est elle-même coiffée d'une bande de roulement 5.

[00164] La largeur axiale maximale S du pneumatique est égale à 317 mm.

[00165] La largeur axiale  $L_{41}$  de la première couche de travail 41 est égale à 252 mm.

[00166] La largeur axiale  $L_{43}$  de la deuxième couche de travail 43 est égale à 232 mm.

[00167] Quant à la largeur axiale  $L_{42}$  de la couche d'éléments de renforcement circonférentiels 42, elle est égale à 194 mm.

[00168] La dernière nappe de sommet 44, dite de protection, a une largeur  $L_{44}$  égale à 124 mm.

[00169] Conformément à l'invention, une couche de mélange caoutchouteux C vient découpler les extrémités des couches de sommet de travail 41 et 43.

[00170] La zone d'engagement de la couche C entre les deux couches de sommet de travail 41 et 43 est définie par son épaisseur ou plus précisément la distance radiale d entre l'extrémité de la couche 43 et la couche 41 et par la largeur axiale D de la couche C comprise entre l'extrémité axialement intérieure de ladite couche C et l'extrémité de la couche de sommet de travail 43 radialement extérieure. La distance radiale d est égale à 3.5 mm. La distance axiale D est égale à 20 mm.

[00171] Selon l'invention, une première couche S de mélange caoutchouteux est mise en place entre l'armature de carcasse 2 et la première couche de travail 41.

[00172] Sur la figure 2, le pneumatique 1 diffère de celui représenté sur la figure 1 en ce qu'une deuxième couche G prolonge axialement la première couche S, radialement entre l'armature de carcasse 2 et la première couche de travail 41.

[00173] Sur la figure 3, le pneumatique 1 diffère de celui de la figure 1 par la forme de la couche C qui est sensiblement plate. La distance radiale d est égale à 2 mm, ce qui correspond à une épaisseur de la couche C égale à 1.2 mm. Conformément à la variante de l'invention représentée sur cette figure 2, l'épaisseur de la couche C est sensiblement identique dans une vue méridienne sur la largeur axiale comprise entre l'extrémité axialement intérieure de la couche C et l'extrémité de la couche de travail axialement la plus étroite.

[00174] Le diamètre des éléments de renforcement circonférentiels de la couche 42 est égale à 1.35 mm. La distance d est donc égale à 1.48 fois le diamètre  $\phi$  de ces éléments.

[00175] Des essais ont été réalisés avec différents pneumatiques réalisés selon l'invention conformément aux représentations des figures 1 et 3 ainsi qu'avec des pneumatiques de référence.

[00176] Des essais sont notamment réalisés en faisant varier les caractéristiques des mélanges de la couche C, notamment leur module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement et la valeur  $\tan(\delta)_{\max}$  et les caractéristiques des mélanges de la couche S, notamment le module complexe de cisaillement dynamique  $G^*$ , mesuré à 10% et 60 °C sur le cycle retour.

[00177] D'autres essais sont encore réalisés avec des pneumatiques en faisant également varier les caractéristiques des mélanges des calandrages des couches de travail 41 et 43, notamment leur module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement et la valeur  $\tan(\delta)_{\max}$ , conformément à l'invention.

[00178] D'autres essais sont encore réalisés en faisant varier la forme et les dimensions de la couche C.

[00179] Les différents mélanges utilisés sont listés ci-après.

|                            | Mélange R1 | Mélange R2 | Mélange R3 | Mélange 1 | Mélange 2 |
|----------------------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|
| NR                         | 100        | 100        | 100        | 100       | 100       |
| Noir N347                  | 52         | 50         |            |           |           |
| Noir N683                  |            |            |            | 63        |           |
| Noir N330                  |            |            | 35         |           |           |
| Noir N234                  |            |            |            |           | 35        |
| Silice 165G                |            |            |            |           | 5         |
| Antioxydant (6PPD)         | 1          | 1.8        | 0.7        | 1         | 1.7       |
| Acide stéarique            | 0.65       | 0.6        | 1.4        | 0.65      | 0.5       |
| Oxyde de zinc              | 9.3        | 9.3        | 2.1        | 9.3       | 5         |
| Sel de Cobalt (AcacCo)     | 1.12       |            |            | 1.12      |           |
| Sel de Cobalt (AbietateCo) |            | 4.5        |            |           |           |

|                              |       |       |       |       |       |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| soufre                       | 6.1   | 5.6   | 2.15  | 6.1   | 3.13  |
| Accélérateur DCBS            | 0.93  | 0.8   |       | 0.93  |       |
| Accélérateur CBS             |       |       | 1     |       | 1.10  |
| Retardateur CTP (PVI)        | 0.25  |       | 0.08  | 0.25  |       |
| MA <sub>10</sub> (MPa)       | 10.4  | 8.5   | 3.4   | 10.03 | 3.5   |
| $\tan(\delta)_{\max}$        | 0.130 | 0.141 | 0.074 | 0.092 | 0.080 |
| P60 (%)                      | 22.9  | 24.5  | 11.3  | 17.4  | 12    |
| G* 10% à 60°C (cycle retour) |       |       | 1.25  |       | 1.43  |
| Note Z                       |       |       | 60    |       | 65    |
| Bound rubber                 |       |       | 27.5  |       | 48.1  |

**[00180]** Les valeurs des constituants sont exprimées en pce (parties en poids pour cent parties d'élastomères).

**[00181]** Différents pneumatiques de référence ont été testés.

**[00182]** Des premiers pneumatiques de référence T1 possèdent une première couche C constituée du mélange R2, telle que représentée sur la figure 1 et présentant une distance d égale à 3.5 mm et un profil de sa section arrondi, les calandrages des couches de travail étant constitués du mélange R1 et la première couche S du mélange R3

**[00183]** Des deuxièmes pneumatiques de référence T2 possèdent une première couche C constituée du mélange 1, telle que représentée sur la figure 1 et présentant une distance d égale à 3.5 mm et un profil de sa section arrondi, les calandrages des couches de travail étant constitués du mélange R1 et la première couche S du mélange R3.

**[00184]** Des troisièmes pneumatiques de référence T3 possèdent une première couche C constituée du mélange 1, telle que représentée sur la figure 3, les calandrages des couches de travail étant constitués du mélange R1 et la première couche S du mélange R3.

**[00185]** Des quatrièmes pneumatiques de référence T4 possèdent une première couche C constituée du mélange 1, telle que représentée sur la figure 3, les calandrages des couches de travail étant constitués du mélange 1 et la première couche S du mélange R3.

[00186] Différents pneumatiques selon l'invention ont été testés.

[00187] Des premiers pneumatiques S1 conforment à l'invention possèdent une première couche C constituée du mélange 1, telle que représentée sur la figure 1 et présentant une distance d égale à 3.5 mm et un profil de sa section arrondi, les calandrages des couches de travail étant constitués du mélange R1 et la première couche S du mélange 2.

[00188] Des deuxièmes pneumatiques S2 conforment à l'invention possèdent une première couche C constituée du mélange 1, telle que représentée sur la figure 3, les calandrages des couches de travail étant constitués du mélange R1 et la première couche S du mélange 2.

[00189] Des troisièmes pneumatiques S2 conforment à l'invention possèdent une première couche C constituée du mélange 1, telle que représentée sur la figure 3, les calandrages des couches de travail étant constitués du mélange 1 et la première couche S du mélange 2.

[00190] Des premiers essais d'endurance ont été réalisés sur une machine de test imposant à chacun des pneumatiques un roulage ligne droite à une vitesse égale à l'indice de vitesse maximum prescrit pour ledit pneumatique (speed index) sous une charge initiale de 4000 Kg progressivement augmentée pour réduire la durée du test.

[00191] Il s'avère que l'ensemble des pneumatiques testés présente des résultats sensiblement comparables.

[00192] D'autres essais d'endurance ont été réalisés sur une machine de tests imposant de façon cyclique un effort transversal et une surcharge dynamique aux pneumatiques. Les essais ont été réalisés pour les pneumatiques selon l'invention avec des conditions identiques à celles appliquées aux pneumatiques de référence.

[00193] Les distances parcourues varient d'un type de pneumatique à l'autre, des déchéances apparaissant du fait d'une dégradation des mélanges caoutchouteux au niveau des extrémités des couches de travail. Les résultats sont exprimés dans le tableau qui suit en référence à une base 100 fixé pour le pneumatique de référence T1.

| Pneumatique T1 | Pneumatique T2 | Pneumatique T3 | Pneumatique T4 | Pneumatique S1 | Pneumatique S2 | Pneumatique S3 |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 100            | 110            | 90             | 105            | 130            | 110            | 125            |

[00194] Par ailleurs, des mesures de résistance au roulement ont été effectuées. Ces mesures ont portés sur l'ensemble des pneumatiques décrits précédemment.

[00195] Les résultats des mesures sont présentés dans le tableau suivant ; elles sont exprimées en Kg/t, une valeur de 100 étant attribuée au pneumatique T1.

| Pneumatique T1 | Pneumatique T2 | Pneumatique T3 | Pneumatique T4 | Pneumatique S1 | Pneumatique S2 | Pneumatique S3 |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 100            | 98             | 97             | 95             | 98             | 97             | 95             |

## **REVENDICATIONS**

- 1 – Pneumatique à armature de carcasse radiale comprenant une armature de sommet formée d'au moins deux couches de sommet de travail d'éléments de renforcement, croisés d'une couche à l'autre en faisant avec la direction circonférentielle des angles compris entre  
5 10° et 45°, une couche C de mélange caoutchouteux étant disposée entre au moins les extrémités desdites au moins deux couches de sommet de travail, une première couche S de mélange polymérique étant au contact d'au moins une couche de sommet de travail et au contact de l'armature de carcasse, ladite première couche S de mélange polymérique s'étendant axialement jusqu'au moins l'extrémité axiale de la bande de roulement, ladite bande  
10 de roulement coiffant l'armature sommet et étant réunie à deux bourrelets par l'intermédiaire de deux flancs, l'armature de sommet comportant au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels, **caractérisé en ce que** le module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement de la couche C est supérieur à 9 MPa, **en ce que** la valeur maximale de  $\tan(\delta)$ , noté  $\tan(\delta)_{\max}$ , de la couche C est inférieure à 0.100, **en ce que** ladite première couche S de  
15 mélange polymérique est constituée d'un mélange élastomérique chargé présentant une note Z de macro dispersion supérieure ou égale à 65 et une valeur maximale de  $\tan(\delta)$ , noté  $\tan(\delta)_{\max}$ , inférieure à 0.100 et **en ce que** le module complexe de cisaillement dynamique  $G^*$ , mesuré à 10% et 60 °C sur le cycle retour, de ladite première couche S de mélange polymérique est supérieur à 1.35 MPa.
- 20 2 - Pneumatique selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le module complexe de cisaillement  $G^*$ , mesuré à 10% et 60 °C sur le cycle retour, de la première couche S est inférieur à 2 MPa.
- 3 - Pneumatique selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le mélange élastomérique de la première couche S comporte comme charge renforçante au moins du noir  
25 de carbone employé à un taux compris entre 10 et 50 pce, et **en ce que** le noir de carbone présente une surface spécifique BET supérieure à 90 m<sup>2</sup>/g et de préférence supérieure ou égale à 120 m<sup>2</sup>/g.
- 4 – Pneumatique selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le mélange élastomérique de la première couche S comporte un coupage de noir de carbone, de surface  
30 spécifique BET supérieure à 90 m<sup>2</sup>/g et de préférence supérieure ou égale à 120 m<sup>2</sup>/g, et d'une

charge blanche, **en ce que** la charge renforçante est employée à un taux compris entre 10 et 60 pce, et **en ce que** le ratio de noir de carbone sur charge blanche est supérieur à 2.7.

**5** **5** - Pneumatique selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la couche C de mélange caoutchouteux est un mélange élastomérique à base de caoutchouc naturel ou de polyisoprène synthétique à majorité d'enchaînements cis-1,4 et éventuellement d'au moins un autre élastomère diénique, le caoutchouc naturel ou le polyisoprène synthétique en cas de coupage étant présent à un taux majoritaire par rapport au taux de l'autre ou des autres élastomères diéniques utilisés et d'une charge renforçante constituée :

**10** a) soit par du noir de carbone de surface spécifique BET inférieure à 60 m<sup>2</sup>/g, quelle que soit son indice de structure, employé à un taux compris entre 40 et 100 pce, et de préférence entre 60 et 90 pce,

**15** b) soit par une charge blanche de type silice et/ou alumine comportant des fonctions de surface SiOH et/ou AlOH choisie dans le groupe formé par les silices précipitées ou pyrogénées, les aluminosilicates ou bien encore les noirs de carbone modifiés en cours ou après la synthèse de surface spécifique BET comprise entre 30 et 260 m<sup>2</sup>/g employée à un taux compris entre 40 et 100 pce, et de préférence entre 60 et 90 pce,

**20** c) soit par un coupage de noir de carbone décrit en (a) et d'une charge blanche décrite en (b), dans lequel le taux global de charge est compris entre 40 et 100 pce, et de préférence entre 60 et 90 pce.

**25** **6** - Pneumatique selon l'une des revendications précédentes, ledit pneumatique comportant une deuxième couche G de mélange polymérique axialement au contact de la première couche S de mélange polymérique radialement entre l'armature de carcasse et la couche d'éléments de renforcement radialement la plus intérieure de l'armature de sommet, **caractérisé en ce que** ladite deuxième couche G de mélange polymérique est constituée d'un mélange élastomérique chargé présentant une note Z de macro dispersion supérieure ou égale à 65 et une valeur maximale de tan( $\delta$ ), noté tan( $\delta$ )max, inférieure à 0.100 et **en ce que** le module complexe de cisaillement dynamique G\*, mesuré à 10% et 60 °C sur le cycle retour, de ladite deuxième couche G de mélange polymérique est supérieur à 1.35 Mpa.

7 - Pneumatique selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** le module complexe de cisaillement  $G^*$ , mesuré à 10% et 60 °C sur le cycle retour, de la deuxième couche G est inférieur à 2 MPa.

8 - Pneumatique selon l'une des revendications 6 ou 7, **caractérisé en ce que** le mélange élastomérique de la deuxième couche G comporte comme charge renforçante au moins du noir de carbone employé à un taux compris entre 10 et 50 pce, et **en ce que** le noir de carbone présente une surface spécifique BET supérieure à 90 m<sup>2</sup>/g et de préférence supérieure ou égale à 120 m<sup>2</sup>/g.

9 - Pneumatique selon l'une des revendications 6 ou 7, **caractérisé en ce que** le mélange élastomérique de la deuxième couche G comporte comme un coupage de noir de carbone, de surface spécifique BET supérieure à 90 m<sup>2</sup>/g et de préférence supérieure ou égale à 120 m<sup>2</sup>/g, et d'une charge blanche, **en ce que** la charge renforçante est employée à un taux compris entre 10 et 60 pce, et **en ce que** le ratio de noir de carbone sur charge blanche est supérieur à 2.7.

10 - Pneumatique selon l'une des revendications précédentes, lesdites au moins deux couches de sommet de travail ayant des largeurs axiales inégales, **caractérisé en ce que** la distance d entre l'extrémité de la couche de travail axialement la plus étroite et la couche de travail séparée de la couche de travail axialement la plus étroite par la couche C de mélange caoutchouteux est telle que  $1.1\varnothing < d < 2.2\varnothing$ ,  $\varnothing$  étant le diamètre des éléments de renforcement de ladite au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels et **en ce que**, dans un plan méridien, l'épaisseur de la couche C de mélange caoutchouteux est sensiblement constante sur la largeur axiale comprise entre l'extrémité axialement intérieure de la couche C et l'extrémité de la couche de travail axialement la plus étroite.

11 - Pneumatique selon l'une des revendications précédentes, lesdites au moins deux couches de sommet de travail étant chacune formée d'éléments de renforcement insérés entre deux couches de calandrage de mélange caoutchouteux, **caractérisé en ce que** le module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement d'au moins une couche de calandrage d'au moins une couche de sommet de travail est supérieur à 9 MPa et **en ce que** la valeur maximale de  $\tan(\delta)$ , noté  $\tan(\delta)_{\max}$ , de ladite au moins une couche de calandrage d'au moins une couche de sommet de travail est inférieure à 0.100.

12 - Pneumatique selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** ladite au moins une couche de calandrage d'au moins une couche de sommet de travail est un mélange élastomérique à base de caoutchouc naturel ou de polyisoprène synthétique à majorité d'enchaînements cis-1,4 et éventuellement d'au moins un autre élastomère diénique, le caoutchouc naturel ou le polyisoprène synthétique en cas de coupage étant présent à un taux majoritaire par rapport au taux de l'autre ou des autres élastomères diéniques utilisés et d'une charge renforçante constituée :

a) soit par du noir de carbone de surface spécifique BET inférieure à 60 m<sup>2</sup>/g, quelle que soit son indice de structure, employé à un taux compris entre 40 et 100 pce, et de préférence entre 60 et 90 pce,

b) soit par une charge blanche de type silice et/ou alumine comportant des fonctions de surface SiOH et/ou AlOH choisie dans le groupe formé par les silices précipitées ou pyrogénées, les aluminosilicates ou bien encore les noirs de carbone modifiés en cours ou après la synthèse de surface spécifique BET comprise entre 30 et 260 m<sup>2</sup>/g employée à un taux compris entre 40 et 100 pce, et de préférence entre 60 et 90 pce,

c) soit par un coupage de noir de carbone décrit en (a) et d'une charge blanche décrite en (b), dans lequel le taux global de charge est compris entre 40 et 100 pce, et de préférence entre 60 et 90 pce.

13 - Pneumatique selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la différence entre le module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement de la couche C et le module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement de ladite au moins une couche de calandrage d'au moins une couche de sommet de travail est inférieure à 2 MPa.

14 - Pneumatique selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la couche d'éléments de renforcement circonférentiels est radialement disposée entre deux couches de sommet de travail.

15 - Pneumatique selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les éléments de renforcement d'au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels sont des éléments de renforcement métalliques présentant un module sécant à 0,7 %

d'allongement compris entre 10 et 120 GPa et un module tangent maximum inférieur à 150 GPa.

**16** - Pneumatique selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les éléments de renforcement des couches de sommet de travail sont inextensibles.

5 **17** - Pneumatique selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'armature de sommet est complétée radialement à l'extérieur par au moins une nappe supplémentaire, dite de protection, d'éléments de renforcement dits élastiques, orientés par rapport à la direction circonférentielle avec un angle compris entre  $10^\circ$  et  $45^\circ$  et de même sens que l'angle formé par les éléments de la nappe de travail qui lui est radialement adjacente.

10 **18** - Pneumatique selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'armature de sommet comporte en outre une couche de triangulation formée d'éléments de renforcement métalliques faisant avec la direction circonférentielle des angles supérieurs à  $60^\circ$ .

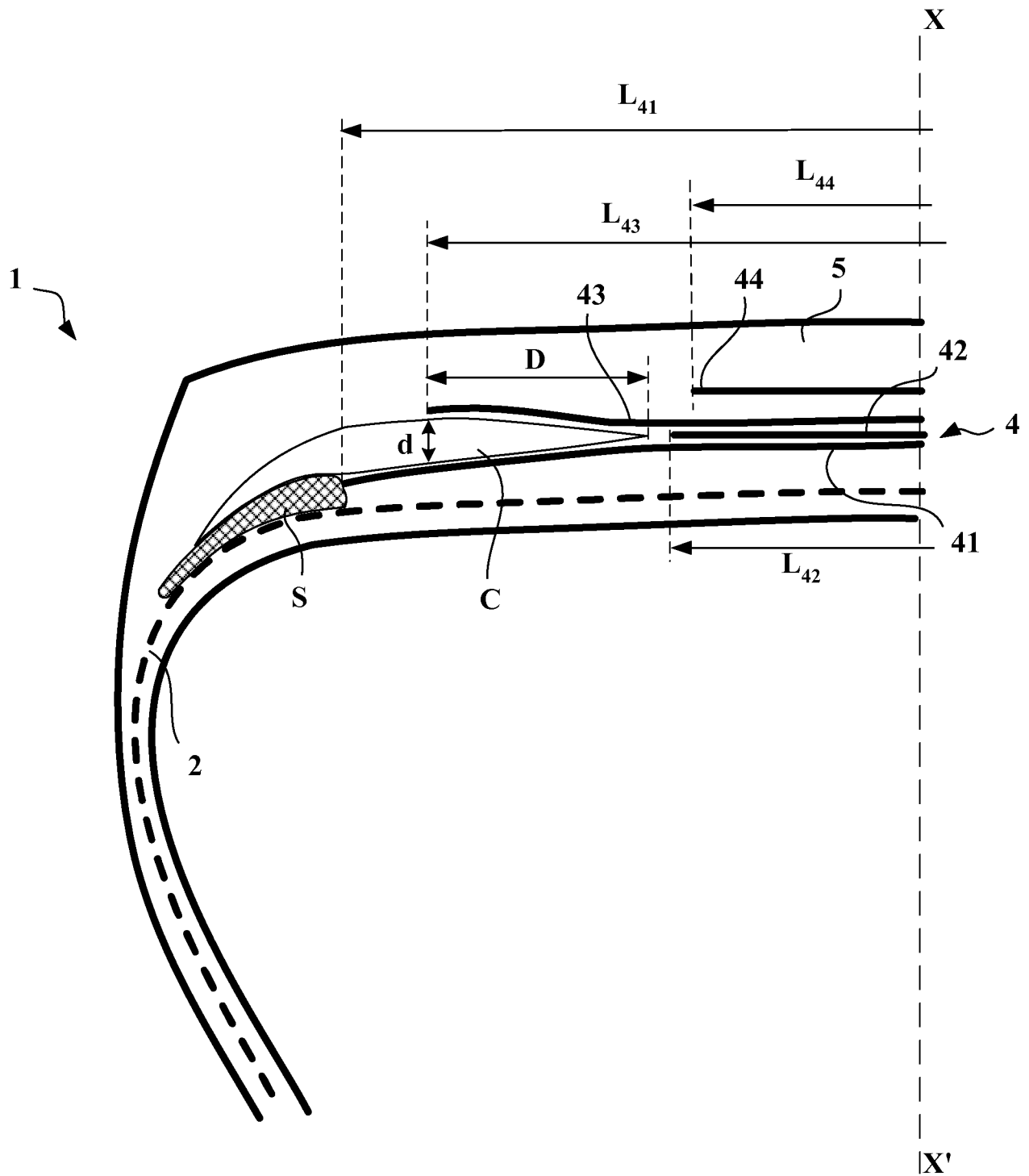


FIG.1

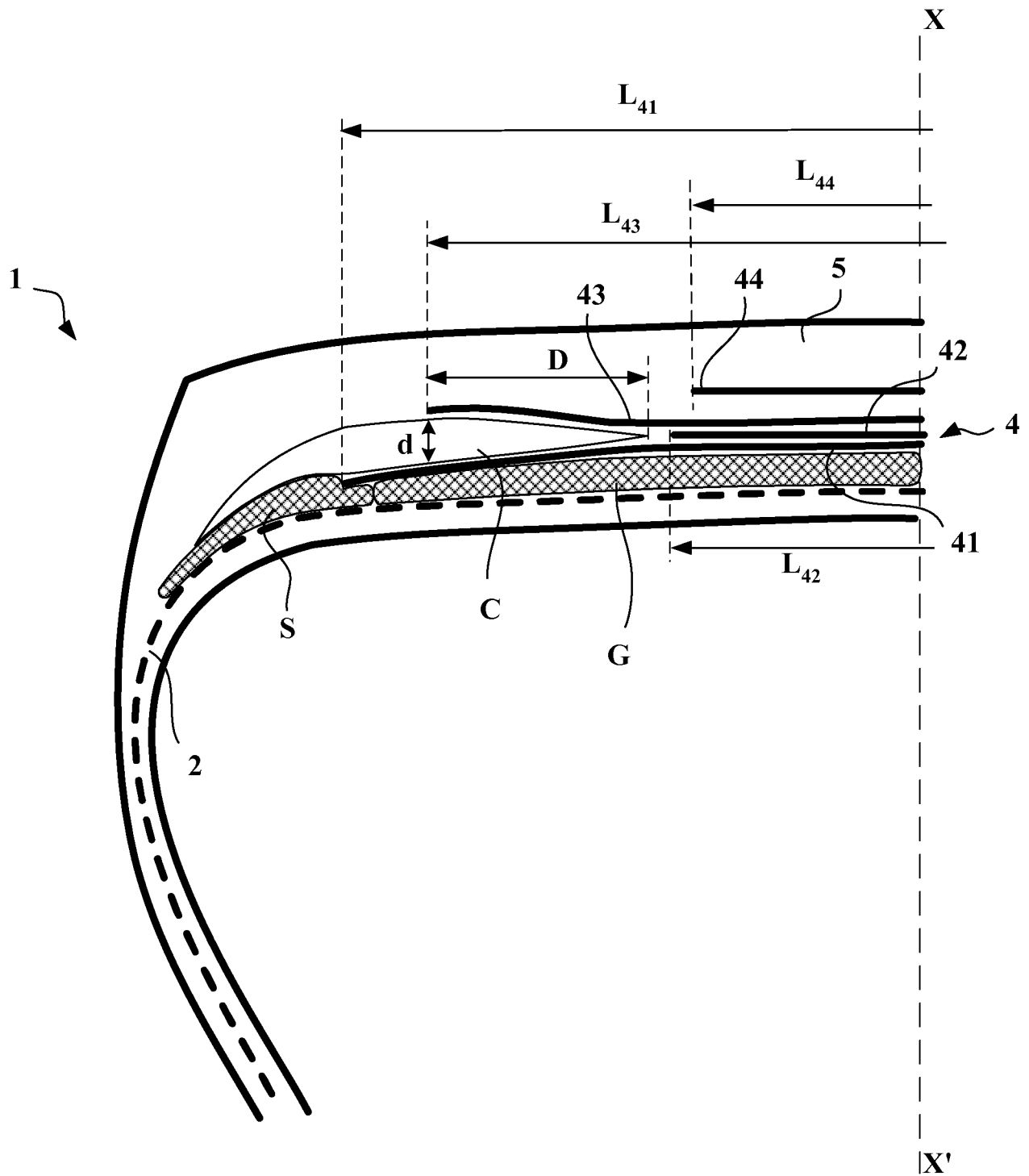


FIG.2

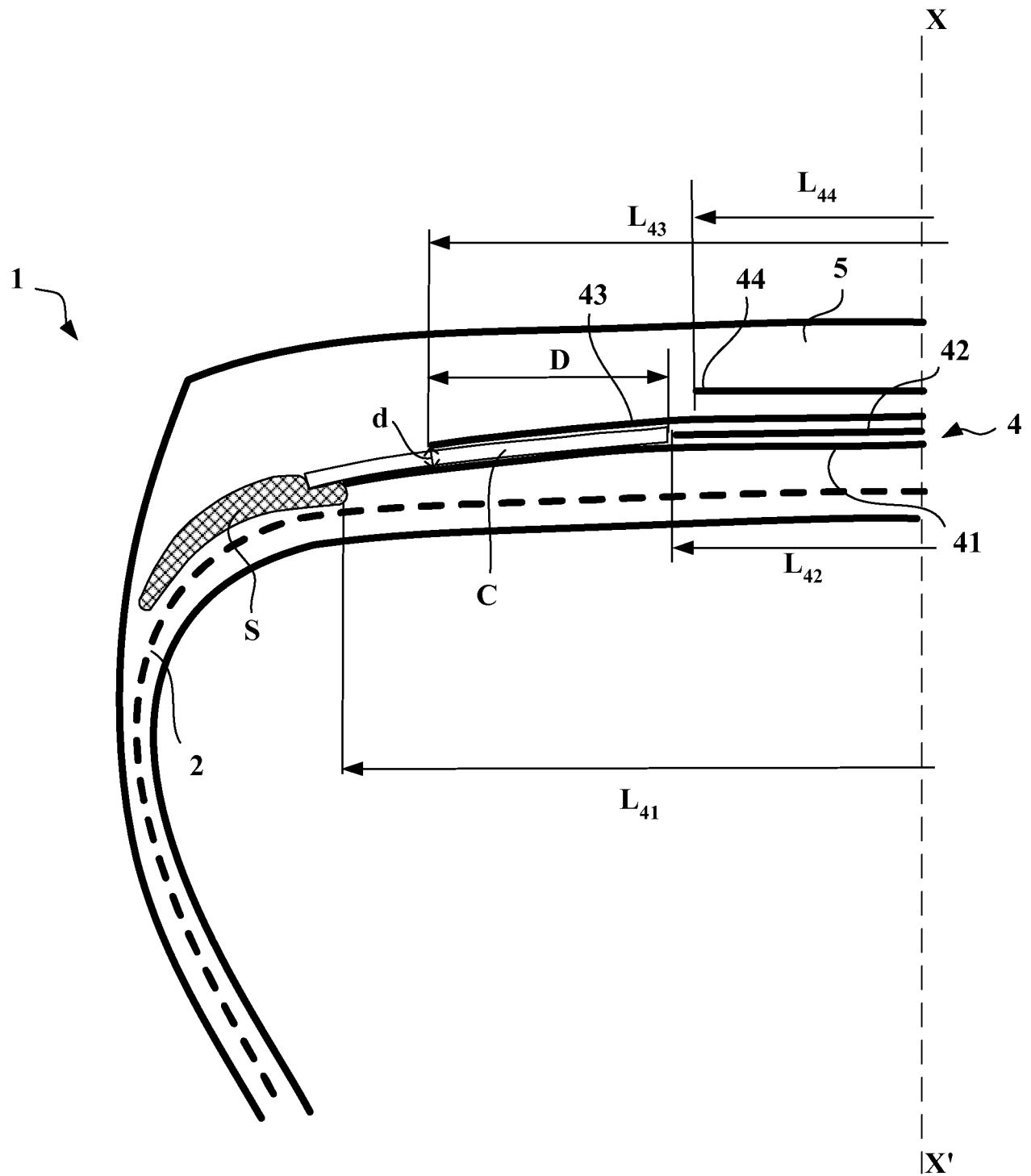


**FIG.3**

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2015/061718

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. B60C9/18  
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
B60C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                               | Relevant to claim No. |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | FR 2 887 807 A1 (MICHELIN SOC TECH [FR];<br>MICHELIN RECH TECH [CH])<br>5 January 2007 (2007-01-05)<br>page 17, line 5 - page 20, line 9; figures<br>1,5                         | 1-18                  |
| A         | -----<br>EP 0 785 096 A1 (PIRELLI [IT])<br>23 July 1997 (1997-07-23)<br>column 4, line 4 - column 6, line 27;<br>figure 1                                                        | 1-18                  |
| A         | -----<br>WO 2012/069603 A1 (MICHELIN SOC TECH [FR];<br>MICHELIN RECH TECH [CH]; BECHON HERVE<br>[FR]; FO) 31 May 2012 (2012-05-31)<br>paragraphs [0022] - [0024]<br>-----<br>-/- | 1-18                  |



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 July 2015

Date of mailing of the international search report

10/08/2015

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Buergo, Javier

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2015/061718

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                           | Relevant to claim No. |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | WO 2012/052522 A1 (MICHELIN SOC TECH [FR];<br>MICHELIN RECH TECH [CH]; REHAB HICHEM<br>[FR]; D0) 26 April 2012 (2012-04-26)<br>paragraphs [0068] - [0073]; claims 1-11;<br>figure 2<br>----- | 1-18                  |

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/061718

| Patent document<br>cited in search report | Publication<br>date | Patent family<br>member(s)  | Publication<br>date        |
|-------------------------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|
| FR 2887807                                | A1                  | 05-01-2007                  | BR PI0612388 A2 24-04-2012 |
|                                           |                     | CA 2611202 A1 11-01-2007    |                            |
|                                           |                     | CN 101213086 A 02-07-2008   |                            |
|                                           |                     | EP 1899175 A1 19-03-2008    |                            |
|                                           |                     | FR 2887807 A1 05-01-2007    |                            |
|                                           |                     | JP 4902650 B2 21-03-2012    |                            |
|                                           |                     | JP 2008544910 A 11-12-2008  |                            |
|                                           |                     | US 2009107606 A1 30-04-2009 |                            |
|                                           |                     | WO 2007003558 A1 11-01-2007 |                            |
| EP 0785096                                | A1                  | 23-07-1997                  | AR 005662 A1 14-07-1999    |
|                                           |                     | AT 200057 T 15-04-2001      |                            |
|                                           |                     | BR 9700120 A 22-09-1998     |                            |
|                                           |                     | CZ 9700138 A3 13-08-1997    |                            |
|                                           |                     | DE 69704382 D1 03-05-2001   |                            |
|                                           |                     | DE 69704382 T2 31-10-2001   |                            |
|                                           |                     | DK 0785096 T3 30-07-2001    |                            |
|                                           |                     | EG 21204 A 31-01-2001       |                            |
|                                           |                     | EP 0785096 A1 23-07-1997    |                            |
|                                           |                     | ES 2157485 T3 16-08-2001    |                            |
|                                           |                     | GR 3036118 T3 28-09-2001    |                            |
|                                           |                     | IL 120033 A 28-09-2000      |                            |
|                                           |                     | IT 1281685 B1 26-02-1998    |                            |
|                                           |                     | JP 3925974 B2 06-06-2007    |                            |
|                                           |                     | JP H09328002 A 22-12-1997   |                            |
|                                           |                     | SK 7897 A3 06-08-1997       |                            |
|                                           |                     | TR 9700038 A2 21-08-1997    |                            |
|                                           |                     | TW 521713 U 21-02-2003      |                            |
|                                           |                     | US 5904197 A 18-05-1999     |                            |
|                                           |                     | ZA 9700440 A 21-07-1997     |                            |
| WO 2012069603                             | A1                  | 31-05-2012                  | CN 103228465 A 31-07-2013  |
|                                           |                     | EA 201390773 A1 30-09-2013  |                            |
|                                           |                     | EP 2643171 A1 02-10-2013    |                            |
|                                           |                     | FR 2967940 A1 01-06-2012    |                            |
|                                           |                     | JP 2013543815 A 09-12-2013  |                            |
|                                           |                     | US 2013340905 A1 26-12-2013 |                            |
|                                           |                     | WO 2012069603 A1 31-05-2012 |                            |
| WO 2012052522                             | A1                  | 26-04-2012                  | CN 103167958 A 19-06-2013  |
|                                           |                     | EP 2629988 A1 28-08-2013    |                            |
|                                           |                     | FR 2966384 A1 27-04-2012    |                            |
|                                           |                     | JP 2013542125 A 21-11-2013  |                            |
|                                           |                     | US 2013220509 A1 29-08-2013 |                            |
|                                           |                     | WO 2012052522 A1 26-04-2012 |                            |

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2015/061718

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b><br>INV. B60C9/18<br>ADD.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                             |
| Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                             |
| <b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b><br>Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)<br>B60C                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                             |
| Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                             |
| Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)<br>EPO-Internal, WPI Data                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                             |
| <b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                             |
| Catégorie*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents                                                                                                              | no. des revendications visées                                                                                                               |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | FR 2 887 807 A1 (MICHELIN SOC TECH [FR];<br>MICHELIN RECH TECH [CH])<br>5 janvier 2007 (2007-01-05)<br>page 17, ligne 5 - page 20, ligne 9;<br>figures 1,5<br>-----                                         | 1-18                                                                                                                                        |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | EP 0 785 096 A1 (PIRELLI [IT])<br>23 juillet 1997 (1997-07-23)<br>colonne 4, ligne 4 - colonne 6, ligne 27;<br>figure 1<br>-----                                                                            | 1-18                                                                                                                                        |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | WO 2012/069603 A1 (MICHELIN SOC TECH [FR];<br>MICHELIN RECH TECH [CH]; BECHON HERVE<br>[FR]; FO) 31 mai 2012 (2012-05-31)<br>alinéas [0022] - [0024]<br>-----<br><div style="text-align: center;">-/-</div> | 1-18                                                                                                                                        |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span><input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents</span> <span><input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe</span> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                             |
| * Catégories spéciales de documents cités:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                             |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p> <p>"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p> <p>"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p> <p>"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p> <p>"&amp;" document qui fait partie de la même famille de brevets</p> </div> </div> |                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                             |
| Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée<br><br><div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">30 juillet 2015</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                             | Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale<br><br><div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">10/08/2015</div> |
| Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale<br>Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040,<br>Fax: (+31-70) 340-3016                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                             | Fonctionnaire autorisé<br><br><div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">Buergo, Javier</div>                                       |

| C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS |                                                                                                                                                                                                   |                               |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Catégorie*                                      | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents                                                                                                    | no. des revendications visées |
| A                                               | WO 2012/052522 A1 (MICHELIN SOC TECH [FR];<br>MICHELIN RECH TECH [CH]; REHAB HICHEM<br>[FR]; D0) 26 avril 2012 (2012-04-26)<br>alinéas [0068] - [0073]; revendications<br>1-11; figure 2<br>----- | 1-18                          |

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2015/061718

| Document brevet cité<br>au rapport de recherche |    | Date de<br>publication | Membre(s) de la<br>famille de brevet(s) |               | Date de<br>publication |
|-------------------------------------------------|----|------------------------|-----------------------------------------|---------------|------------------------|
| FR 2887807                                      | A1 | 05-01-2007             | BR                                      | PI0612388 A2  | 24-04-2012             |
|                                                 |    |                        | CA                                      | 2611202 A1    | 11-01-2007             |
|                                                 |    |                        | CN                                      | 101213086 A   | 02-07-2008             |
|                                                 |    |                        | EP                                      | 1899175 A1    | 19-03-2008             |
|                                                 |    |                        | FR                                      | 2887807 A1    | 05-01-2007             |
|                                                 |    |                        | JP                                      | 4902650 B2    | 21-03-2012             |
|                                                 |    |                        | JP                                      | 2008544910 A  | 11-12-2008             |
|                                                 |    |                        | US                                      | 2009107606 A1 | 30-04-2009             |
|                                                 |    |                        | WO                                      | 2007003558 A1 | 11-01-2007             |
| -----                                           |    |                        |                                         |               |                        |
| EP 0785096                                      | A1 | 23-07-1997             | AR                                      | 005662 A1     | 14-07-1999             |
|                                                 |    |                        | AT                                      | 200057 T      | 15-04-2001             |
|                                                 |    |                        | BR                                      | 9700120 A     | 22-09-1998             |
|                                                 |    |                        | CZ                                      | 9700138 A3    | 13-08-1997             |
|                                                 |    |                        | DE                                      | 69704382 D1   | 03-05-2001             |
|                                                 |    |                        | DE                                      | 69704382 T2   | 31-10-2001             |
|                                                 |    |                        | DK                                      | 0785096 T3    | 30-07-2001             |
|                                                 |    |                        | EG                                      | 21204 A       | 31-01-2001             |
|                                                 |    |                        | EP                                      | 0785096 A1    | 23-07-1997             |
|                                                 |    |                        | ES                                      | 2157485 T3    | 16-08-2001             |
|                                                 |    |                        | GR                                      | 3036118 T3    | 28-09-2001             |
|                                                 |    |                        | IL                                      | 120033 A      | 28-09-2000             |
|                                                 |    |                        | IT                                      | 1281685 B1    | 26-02-1998             |
|                                                 |    |                        | JP                                      | 3925974 B2    | 06-06-2007             |
|                                                 |    |                        | JP                                      | H09328002 A   | 22-12-1997             |
|                                                 |    |                        | SK                                      | 7897 A3       | 06-08-1997             |
|                                                 |    |                        | TR                                      | 9700038 A2    | 21-08-1997             |
|                                                 |    |                        | TW                                      | 521713 U      | 21-02-2003             |
|                                                 |    |                        | US                                      | 5904197 A     | 18-05-1999             |
|                                                 |    |                        | ZA                                      | 9700440 A     | 21-07-1997             |
| -----                                           |    |                        |                                         |               |                        |
| WO 2012069603                                   | A1 | 31-05-2012             | CN                                      | 103228465 A   | 31-07-2013             |
|                                                 |    |                        | EA                                      | 201390773 A1  | 30-09-2013             |
|                                                 |    |                        | EP                                      | 2643171 A1    | 02-10-2013             |
|                                                 |    |                        | FR                                      | 2967940 A1    | 01-06-2012             |
|                                                 |    |                        | JP                                      | 2013543815 A  | 09-12-2013             |
|                                                 |    |                        | US                                      | 2013340905 A1 | 26-12-2013             |
|                                                 |    |                        | WO                                      | 2012069603 A1 | 31-05-2012             |
| -----                                           |    |                        |                                         |               |                        |
| WO 2012052522                                   | A1 | 26-04-2012             | CN                                      | 103167958 A   | 19-06-2013             |
|                                                 |    |                        | EP                                      | 2629988 A1    | 28-08-2013             |
|                                                 |    |                        | FR                                      | 2966384 A1    | 27-04-2012             |
|                                                 |    |                        | JP                                      | 2013542125 A  | 21-11-2013             |
|                                                 |    |                        | US                                      | 2013220509 A1 | 29-08-2013             |
|                                                 |    |                        | WO                                      | 2012052522 A1 | 26-04-2012             |
| -----                                           |    |                        |                                         |               |                        |