

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
07 décembre 2017 (07.12.2017)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2017/207899 A1

(51) Classification internationale des brevets :
B60C 11/11 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2017/051322

(22) Date de dépôt international :
29 mai 2017 (29.05.2017)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
16 54868 31 mai 2016 (31.05.2016) FR

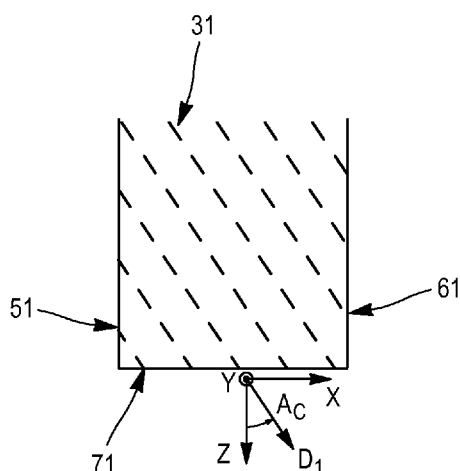
(71) Déposant : COMPAGNIE GENERALE DES ETABLISSEMENTS MICHELIN [FR/FR] ; 12 Cours Sablon, 63000 CLERMONT-FERRAND (FR).

(72) Inventeurs : MANSUY, Philippe ; MANUFACTURE FRANCAISE DES PNEUMATIQUES MICHELIN, DGD/PI - F35 - Ladoux, 63030 CLERMONT-FERRAND CEDEX 9 (FR). ARAUJO DA SILVA, José-Carlos ; MANUFACTURE FRANCAISE DES PNEUMATIQUES MICHELIN, DGD/PI - F35 - Ladoux, 63040 CLERMONT FERRAND CEDEX 9 (FR). LEBRUN, Xavier ; MANUFACTURE FRANCAISE DES PNEUMATIQUES MICHELIN, DGD/PI - F35 - Ladoux, 63040 CLERMONT FERRAND CEDEX 9 (FR). MAESAKA, Masayuki ; MANUFACTURE FRANCAISE DES PNEUMATIQUES MICHELIN, DGD/PI - F35 - LADOUX, 63040 CLERMONT-FERRAND Cedex 9 (FR).

(74) Mandataire : MILLANVOIS, Patrick ; MANUFACTURE FRANCAISE DES PNEUMATIQUES MI-

(54) Title: TYRE

(54) Titre : PNEUMATIQUE



A-A
FIG. 2B

(57) Abstract: The invention relates to a radial tyre for a heavy vehicle of construction plant type intended for use in mines, characterized by an alternation of running under load along an upward slope and in an empty state along a downward slope, the tyre comprising a tread comprising a first median portion and a second and a third lateral portion, any raised element (31) in the first median portion being made of a first orthotropic material having a direction of greatest stiffness (D_1) oriented towards the outside of the tyre, forming, in any circumferential plane (ZX) and with the radial axis (Z), an oriented angle (A_c) at least equal to $+15^\circ$ and at most equal to $+35^\circ$, or at least equal to -75° and at most equal to -55° , and any raised element in the second and third lateral portions being made of a second and a third orthotropic material, respectively, having in each case a direction of greatest stiffness oriented towards the outside of the tyre, forming, in any circumferential plane (ZX) and with the radial axis (Z), an oriented angle at least equal to -35° and at most equal to -15° , or at least equal to $+55^\circ$ and at most equal to $+75^\circ$.

(57) Abrégé : Pneumatique radial pour un véhicule lourd de type génie civil destiné à un usage mines, caractérisé par une alternance de roulages en charge sur une pente ascendante et à vide sur une pente descendante, le pneumatique comprenant une bande de roulement comprenant une première portion médiane et une deuxième et une troisième portions latérales, tout élément en relief (31) de la première portion médiane est constitué par un premier matériau orthotrope ayant une direction de plus grande rigidité (D_1) orientée vers l'extérieur du pneumatique, formant, dans tout plan circonférentiel (ZX) et avec l'axe radial (Z), un angle orienté (A_c) au moins égal à $+15^\circ$ et au plus égal à $+35^\circ$, ou au moins égal à -75° et au plus égal à -55° , et tout élément en relief des deuxième et troisième portions latérales est constitué respectivement par un deuxième et un troisième matériaux orthotropes ayant respectivement une direction de

CHELIN, Sce DGD/PI - F35/Ladoux, 23 place des Carmes-
Déchaux, 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, DJ, 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, KH, KN, KP, KR, KW, 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, 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))

plus grande rigidité orientée vers l'extérieur du pneumatique, formant dans tout plan circonférentiel (ZX) et avec l'axe radial (Z), un angle orienté au moins égal à -35° et au plus égal à -15° , ou au moins égal à $+55^\circ$ et au plus égal à $+75^\circ$.

PNEUMATIQUE

[0001] La présente invention a pour objet un pneumatique radial, destiné à équiper un véhicule lourd de type génie civil, et concerne, plus particulièrement, sa bande de
5 roulement.

[0002] Un pneumatique radial pour véhicule lourd de type génie civil est destiné à être monté sur une jante dont le diamètre est au moins égal à 25 pouces, selon, par exemple, la classification de la norme de la European Tyre and Rim Technical Organisation ou ETRTO. L'invention est plus particulièrement applicable à un pneumatique radial
10 destiné à être monté sur une jante dont le diamètre est compris entre 35 pouces et 63 pouces, sans être toutefois limitée à cette application.

[0003] La bande de roulement est la partie du pneumatique, destinée à entrer en contact avec un sol par l'intermédiaire d'une surface de roulement et à être utilisée. La bande de roulement, constituée par au moins un matériau élastomérique, comprend usuellement
15 un système plus ou moins complexe de découpures séparant des éléments en relief, appelé sculpture, et dont la fonction est principalement de garantir au pneumatique une performance satisfaisante en adhérence longitudinale, sous efforts moteur et freineur, et en adhérence transversale.

[0004] Plus précisément un pneumatique selon l'invention est destiné à être monté sur
20 un véhicule de type dumper, assurant en particulier le transport de matériaux extraits de mines de surface, tels que, par un exemple, des minerais ou du charbon. Un tel usage, appelé usage mines, consiste, de manière simplifiée, en une alternance de cycles aller en charge et de cycles retour à vide. Lors d'un cycle aller en charge, le véhicule chargé transporte, principalement en montée, les matériaux extraits depuis des zones de
25 chargement au fond de la mine, ou fond du « pit », jusqu'à des zones de déchargement. Lors d'un cycle retour à vide, le véhicule à vide retourne, principalement en descente, vers les zones de chargement au fond de la mine.

[0005] En outre les pistes sur lesquelles roulent les véhicules sont constituées de matériaux en général issus de la mine, par exemple, des roches concassées, compactées
30 et régulièrement arrosées pour garantir la tenue de la couche d'usure de la piste lors du

passage des véhicules. Ces pistes ont une action particulièrement abrasive sur les bandes de roulement des pneumatiques.

[0006] La charge appliquée sur le pneumatique dépend à la fois de sa position sur le véhicule et du cycle d'usage du véhicule. A titre d'exemple, pour une pente comprise
5 entre 8.5% et 10%, lors d'un cycle aller de montée en charge, environ un tiers de la charge totale du véhicule est appliqué sur l'essieu avant, équipé généralement de deux pneumatiques en monte simple, et deux tiers de la charge totale du véhicule sont appliqués sur l'essieu arrière, équipé généralement de quatre pneumatiques en monte jumelée. Lors du cycle retour de descente à vide, pour une pente comprise entre 8.5% et
10 10%, environ la moitié de la charge totale du véhicule est appliquée sur l'essieu avant et la moitié de la charge totale du véhicule est appliquée sur l'essieu arrière. Les pneumatiques équipant les dumpers sont, en règle générale, montés, en monte simple, sur l'essieu avant du véhicule pendant le premier tiers de leur vie, puis ensuite permutés, et montés, en monte jumelée, sur l'essieu arrière pour les deux tiers de vie restants. Les
15 pneumatiques selon l'invention sont plus particulièrement optimisés pour un fonctionnement sur essieu arrière.

[0007] Sur un plan économique, le transport des matériaux extraits peut représenter jusqu'à 50% des coûts d'exploitation de la mine, et la contribution des pneumatiques dans les coûts de transport est significative. Par conséquent limiter la vitesse d'usure des
20 pneumatiques est un axe majeur de réduction des coûts d'exploitation. Du point de vue du fabricant de pneumatiques, développer des solutions techniques permettant de réduire la vitesse d'usure est donc un objectif stratégique important.

[0008] Les pneumatiques sont soumis à de fortes sollicitations mécaniques, à la fois au niveau local, lors du roulage sur des pistes recouvertes par des indenteurs, constitués par
25 des cailloux dont la taille moyenne est typiquement comprise entre 1 pouce et 2.5 pouces, et au niveau global, lors du passage d'un couple important sur des pentes comprises entre 8.5% et 10%, et lors des demi-tours pour les manœuvres de chargement et de déchargement. Ces sollicitations mécaniques conduisent à une usure relativement rapide des pneumatiques.

[0009] Les solutions techniques envisagées à ce jour pour réduire la vitesse d'usure portent essentiellement sur la conception de la sculpture de la bande de roulement, sur le

choix des matériaux constitutifs de la bande de roulement, généralement des mélanges élastomériques, et sur l'optimisation de l'armature de sommet radialement intérieure à la bande de roulement. Par exemple, dans le domaine de la sculpture de la bande de roulement, le document WO 2004085175 décrit l'utilisation d'une bande de roulement dont les éléments en relief de sculpture présentent une inclinaison des faces avant et arrière différenciées et variables dans la largeur de la bande de roulement pour générer des efforts de couplage dépendant de la charge appliquée, et ainsi modifier le point de fonctionnement du pneu en glissement et donc limiter les phénomènes d'usure. Par effort de couplage, on entend un effort circonférentiel, tangent à la surface de roulement, généré par la charge appliquée, par effet de Poisson sur les éléments en relief.

[0010] Un pneumatique ayant une géométrie de révolution par rapport à un axe de rotation, sa géométrie est décrite usuellement dans un plan radial contenant l'axe de rotation du pneumatique. Pour un plan radial donné, les directions radiale, axiale et circonférentielle désignent respectivement les directions perpendiculaire à l'axe de rotation du pneumatique, parallèle à l'axe de rotation du pneumatique et perpendiculaire au plan radial. Par convention, les expressions «radialement intérieur, respectivement radialement extérieur» signifient «plus proche, respectivement plus éloigné de l'axe de rotation du pneumatique». Par «axialement intérieur, respectivement axialement extérieur», on entend «plus proche, respectivement plus éloigné du plan équatorial du pneumatique», le plan équatorial du pneumatique étant le plan passant par le milieu de la surface de roulement du pneumatique et perpendiculaire à l'axe de rotation du pneumatique.

[0011] Les inventeurs se sont donnés pour objectif de réduire la vitesse d'usure de la bande de roulement d'un pneumatique radial pour véhicule lourd de type génie civil soumis à de fortes sollicitations mécaniques induites par un usage mines, caractérisé principalement par une alternance de cycles aller de montée en charge et de cycles retour de descente à vide.

[0012] Cet objectif a été atteint, selon l'invention, par un pneumatique pour véhicule lourd de type génie civil destiné à un usage mines, caractérisé par une alternance de roulages en charge sur une pente ascendante et à vide sur une pente descendante:

- le pneumatique comprenant une bande de roulement ayant une largeur totale W_T et comprenant une première portion médiane, axialement intérieure à respectivement une deuxième et une troisième portions latérales,
- la première portion médiane ayant une largeur médiane W_C au moins égale à 20% et au plus égale à 50% de la largeur totale W_T , et comprenant des éléments en relief, séparés les uns des autres par des découpures, chaque élément en relief comprenant une face d'attaque, destinée à entrer en contact en premier avec un sol par l'intermédiaire d'une arête d'attaque, une face de fuite, destinée à entrer en contact en dernier avec le sol par l'intermédiaire d'une arête de fuite, et une face de contact, destinée à entrer en contact intégral avec le sol,
- chacune des deuxième et troisième portions latérales ayant respectivement une largeur latérale (W_{S2} , W_{S3}) au moins égale à 25% et au plus égale à 40% de la largeur totale W_T , et comprenant respectivement des éléments en relief, séparés les uns des autres par des découpures, chaque élément en relief comprenant une face d'attaque, une face de fuite, et une face de contact,
- tout élément en relief de la première portion médiane et des deuxième et troisième portions latérales, lorsqu'il est en contact avec le sol par l'intermédiaire de sa face de contact, étant décrit dans un plan circonférentiel ZX, défini par une direction radiale Z, perpendiculaire à la face de contact et orientée vers l'extérieur du pneumatique, et par une direction circonférentielle X, tangente à la circonférence du pneumatique et orientée depuis l'arête d'attaque vers l'arête de fuite,
- tout élément en relief de la première portion médiane étant constitué par un premier matériau orthotrope M_1 ayant une direction de plus grande rigidité D_1 orientée vers l'extérieur du pneumatique, formant, dans tout plan circonférentiel ZX et avec l'axe Z, un angle orienté A_C au moins égal à $+15^\circ$ et au plus égal à $+35^\circ$, ou au moins égal à -75° et au plus égal à -55° ,
- et tout élément en relief des deuxième et troisième portions latérales étant constitué respectivement par un deuxième et un troisième matériaux orthotropes (M_2 , M_3) ayant respectivement une direction de plus grande rigidité (D_2 , D_3) orientée vers l'extérieur du pneumatique, formant, dans tout plan circonférentiel XZ et avec l'axe Z, un angle orienté (A_{S2} , A_{S3}) au moins égal à -35° et au plus égal à -15° , ou au moins égal à $+55^\circ$ et au plus égal à $+75^\circ$.

[0013] La bande de roulement d'un pneumatique, ayant une largeur totale W_T , comprend usuellement une première portion médiane, axialement intérieure à respectivement une deuxième et une troisième portions latérales, le fonctionnement mécanique de ces diverses portions étant différent selon la portion considérée, lors du passage de la bande de roulement dans le contact avec le sol. Une première portion médiane, axialement intérieure à respectivement une deuxième et une troisième portions latérales, est généralement mais pas obligatoirement délimitée par ces deuxième et troisième portions latérales. En effet, la première portion médiane peut être délimitée à chacune de ses extrémités par une portion intermédiaire qui la sépare d'une portion latérale. L'invention ne porte pas sur ces éventuelles portions intermédiaires, axialement positionnées entre la première portion médiane et chacune des deuxième et troisième portions latérales.

[0014] Dans la présente invention, et par convention, la largeur médiane W_C de la première portion médiane est considérée comme au moins égale à 20% et au plus égale à 50% de la largeur totale W_T de la bande de roulement, alors que la largeur latérale (W_{S2} , W_{S3}) de chacune des deuxième et troisième portions latérales est considérée comme au moins égale à 25% et au plus égale à 40% de la largeur totale W_T de la bande de roulement.

[0015] Tout élément en relief de la bande roulement, que ce soit au niveau de la première portion médiane ou d'une portion latérale, est délimité, selon la direction circonférentielle X, par une face d'attaque et une face de fuite, et, selon une direction radiale Z, radialement à l'extérieur par une face de contact destinée à entrer en contact intégral avec le sol. Par face d'attaque, on entend la face dont l'arête radialement extérieure, intersection de la face d'attaque et de la face de contact, entre en premier dans le contact avec le sol. Par face de fuite, on entend la face dont l'arête radialement extérieure, intersection de la face de fuite et de la face de contact, entre en dernier dans le contact avec le sol.

[0016] Tout élément en relief de la bande roulement est décrit, lorsqu'il est en contact intégral avec le sol par l'intermédiaire de sa face de contact, dans un plan circonférentiel ZX, défini par une direction radiale Z, perpendiculaire à la face de contact et orientée

vers l'extérieur du pneumatique, et par une direction circonférentielle X, tangente à la circonférence du pneumatique et orientée depuis l'arête d'attaque vers l'arête de fuite.

[0017] Selon l'invention, tout élément en relief de la bande roulement est constitué par un matériau orthotrope. En mécanique, le comportement élastique d'un matériau est défini par un système de relations linéaires entre les contraintes et les déformations, qui
5 peut s'écrire sous forme matricielle. La matrice de passage entre les déformations et les contraintes est alors appelée matrice de rigidité et les coefficients de la matrice de rigidité sont appelés rigidités. Dans le cas général, un matériau orthotrope est un matériau pour lequel la rigidité dans une première direction est différente de la rigidité
10 dans une deuxième direction perpendiculaire à la première direction. Dans le cas d'un matériau orthotrope selon l'invention, la rigidité dans une première direction est significativement supérieure à la rigidité dans une deuxième direction perpendiculaire à la première direction. A titre indicatif, le rapport des rigidités entre les deux directions considérées est typiquement supérieur à 1.5, préférentiellement supérieur à 5. La
15 première direction est alors appelée direction de plus grande rigidité.

[0018] Tout élément en relief est soumis, au niveau de sa face de contact, à un effort circonférentiel de couplage, appelé effort élémentaire de couplage, et à un effort circonférentiel de glissement, appelé effort élémentaire de glissement, la résultante de ces deux efforts étant appelée effort élémentaire résultant. L'effort élémentaire de
20 couplage est l'effort appliqué à l'élément en relief par le sol, en réaction aux contraintes tangentielles induites par l'effort radial appliqué à l'élément en relief. L'effort élémentaire de glissement est l'effort appliqué à l'élément en relief par le sol, en réaction aux glissements moteur ou freineur du pneumatique induits par le couple moteur ou freineur appliqué au pneumatique, lorsque le pneumatique est monté sur un
25 essieu arrière du véhicule. Plus précisément, cet effort élémentaire de glissement résulte de la différence de vitesses entre l'armature de sommet du pneumatique, radialement intérieure à la bande de roulement, et le sol.

[0019] Pour la première portion médiane et chacune des deuxième et troisième portions latérales, on définit respectivement un effort médian de couplage et un effort latéral de
30 couplage, un effort médian de glissement et un effort latéral de glissement, un effort médian résultant et un effort latéral résultant. Les efforts médians respectivement de

couplage, de glissement et résultant dépendent des efforts élémentaires respectivement de couplage, de glissement et résultant, appliqués aux éléments en relief de la première portion médiane, mais aussi des interactions mécaniques avec les deuxième et troisième portions latérales. De façon analogue, les efforts latéraux respectivement de couplage, de glissement et résultant dépendent des efforts élémentaires respectivement de couplage, de glissement et résultant, appliqués aux éléments en relief de la deuxième ou troisième portion latérale, mais aussi des interactions mécaniques avec la première portion médiane.

[0020] Au niveau global de la bande roulement, on définit respectivement un effort global de couplage, un effort global de glissement et un effort global résultant. Les efforts globaux respectivement de couplage, de glissement et résultant sont les résultantes des efforts médian et latéraux respectivement de couplage, de glissement et résultant.

[0021] Le principe de l'invention est de proposer une sculpture de bande de roulement permettant de générer un effort global de couplage de même sens que l'effort global résultant, à la fois sous couple moteur et sous couple freineur, pour un pneumatique monté sur essieu moteur. L'effort global de couplage générant ainsi une partie de l'effort global résultant nécessaire à l'avancement du véhicule, il réduit d'autant l'effort global de glissement, donc le glissement de la bande roulement sur le sol est diminué par rapport à une bande de roulement sans effort global de couplage, et corrélativement l'usure de la bande de roulement, fonction du glissement et de la pression de contact, est diminuée, aussi bien sous couple moteur que sous couple freineur.

[0022] Dans ce but, l'invention propose de combiner une première portion médiane pour laquelle tout élément en relief est constitué par un premier matériau orthotrope M_1 ayant une direction de plus grande rigidité D_1 orientée vers l'extérieur du pneumatique, formant, dans tout plan circonférentiel ZX et avec l'axe Z, un angle orienté A_C au moins égal à $+15^\circ$ et au plus égal à $+35^\circ$, ou au moins égal à -75° et au plus égal à -55° , avec une deuxième et une troisième portions latérales pour chacune desquelles tout élément en relief des deuxième et troisième portions latérales est constitué respectivement par un deuxième et un troisième matériaux orthotropes (M_2 , M_3) ayant respectivement une direction de plus grande rigidité (D_2 , D_3) orientée vers l'extérieur du

pneumatique, formant dans tout plan circonférentiel ZX et avec l'axe Z, un angle orienté (A_{S2} , A_{S3}) au moins égal à -35° et au plus égal à -15° , ou au moins égal à $+55^\circ$ et au plus égal à $+75^\circ$.

[0023] Lorsque le pneumatique est soumis à un couple moteur et à une charge radiale, au niveau élémentaire de la première portion médiane, tout élément en relief est soumis à un effort élémentaire résultant, orienté de l'arête d'attaque vers l'arête de fuite de la face de contact, c'est-à-dire dans le sens du déplacement du véhicule. L'effort élémentaire résultant est la somme algébrique d'un effort élémentaire de couplage, orienté de l'arête de fuite vers l'arête d'attaque de la face de contact, c'est-à-dire dans le sens opposé au déplacement du véhicule, et d'un effort élémentaire de glissement, orienté de l'arête d'attaque vers l'arête de fuite de la face de contact, c'est-à-dire dans le sens du déplacement du véhicule. L'orientation de l'effort élémentaire de couplage résulte du choix particulier de l'angle orienté A_C de la direction de plus grande rigidité D_1 du matériau orthotrope M_1 .

[0024] Egalement lorsque le pneumatique est soumis à un couple moteur et à une charge radiale, au niveau élémentaire de la deuxième ou troisième portion latérale, tout élément en relief est soumis à un effort élémentaire résultant, orienté de l'arête d'attaque vers l'arête de fuite de la face de contact, c'est-à-dire dans le sens du déplacement du véhicule. L'effort élémentaire résultant est la somme algébrique d'un effort élémentaire de couplage et d'un effort élémentaire de glissement, tous deux orientés de l'arête d'attaque vers l'arête de fuite de la face de contact, c'est-à-dire dans le sens du déplacement du véhicule. L'orientation de l'effort élémentaire de couplage résulte du choix particulier de l'angle orienté (A_{S2} , A_{S3}) de la direction de plus grande rigidité (D_2 , D_3) du matériau orthotrope (M_2 , M_3).

[0025] Lorsque le pneumatique est soumis à un couple freineur et à une charge radiale, au niveau élémentaire de la première portion médiane, tout élément en relief est soumis à un effort élémentaire résultant, orienté de l'arête de fuite vers l'arête d'attaque de la face de contact, c'est-à-dire dans le sens opposé au déplacement du véhicule. L'effort élémentaire résultant est la somme algébrique d'un effort élémentaire de couplage et d'un effort élémentaire de glissement, tous deux orientés de l'arête de fuite vers l'arête d'attaque de la face de contact, c'est-à-dire dans le sens opposé au déplacement du

véhicule. L'orientation de l'effort élémentaire de couplage résulte du choix particulier de l'angle orienté A_C de la direction de plus grande rigidité D_1 du matériau orthotrope M_1 .

[0026] Egalement lorsque le pneumatique est soumis à un couple freineur et à une charge radiale, au niveau élémentaire de la deuxième ou troisième portion latérale, tout élément en relief de la deuxième ou troisième portion latérale est soumis à un effort élémentaire résultant, orienté de l'arête de fuite vers l'arête d'attaque de la face de contact, c'est-à-dire dans le sens opposé au déplacement du véhicule. L'effort élémentaire résultant est la somme algébrique d'un effort élémentaire de couplage, orienté de l'arête d'attaque vers l'arête de fuite de la face de contact, c'est-à-dire dans le sens du déplacement du véhicule, et d'un effort élémentaire de glissement, orienté de l'arête de fuite vers l'arête d'attaque de la face de contact, c'est-à-dire dans le sens opposé au déplacement du véhicule. L'orientation de l'effort élémentaire de couplage résulte du choix particulier de l'angle orienté (A_{S2} , A_{S3}) de la direction de plus grande rigidité (D_2 , D_3) du matériau orthotrope (M_2 , M_3).

[0027] Au niveau global de la bande de roulement, sous couple moteur, le véhicule étant en charge, la bande de roulement entre en contact avec le sol sur toute sa largeur axiale : la première portion médiane et chacune des deuxième et troisième portions latérales entrent ainsi intégralement en contact avec le sol. Dans cette configuration, la charge portée par la première portion médiane est inférieure à la charge portée par l'ensemble des deuxième et troisième portions latérales. L'effort médian de couplage, proportionnel à la charge appliquée sur la première portion médiane selon un taux de couplage donné, est par conséquent inférieur à la somme des efforts latéraux de couplage, proportionnels respectivement à la charge appliquée sur les deuxième et troisième portions latérales selon le même taux de couplage donné. Par ailleurs, compte tenu du choix des angles (A_C , A_{S2} , A_{S3}) des directions de plus grandes rigidités (D_1 , D_2 , D_3) des matériaux orthotropes (M_1 , M_2 , M_3) des éléments en relief respectivement de la première portion médiane et des deuxième et troisième portions latérales, l'effort médian de couplage est de signe opposé à chaque effort latéral de couplage. Par conséquent, l'effort global de couplage, somme algébrique de l'effort médian de couplage et des efforts latéraux de couplage, est de même signe que les efforts latéraux

de couplage, et de même signe que l'effort global résultant moteur, orienté dans le sens du déplacement du pneumatique. Par conséquent l'effort global de couplage contribue positivement à l'effort global moteur, ce qui diminue la part de l'effort global de glissement moteur, donc le glissement de la bande roulement sur le sol et donc l'usure.

- 5 [0028] Au niveau global de la bande de roulement, sous couple freineur, le véhicule étant à vide, la bande de roulement entre en contact avec le sol sur une partie de sa largeur axiale : la première portion médiane entre intégralement en contact avec le sol, alors que chacune des deuxième et troisième portions latérales entre partiellement en contact avec le sol. Dans cette configuration, la charge portée par la première portion
- 10 médiane est supérieure à la charge portée par l'ensemble des deuxième et troisième portions latérales. L'effort médian de couplage, proportionnel à la charge appliquée sur la première portion médiane selon un taux de couplage donné, est par conséquent supérieur à la somme des efforts latéraux de couplage, proportionnels respectivement à la charge appliquée sur les deuxième et troisième portions latérales selon le même taux
- 15 de couplage donné. Par ailleurs, compte tenu du choix des angles (A_C , A_{S2} , A_{S3}) des directions de plus grandes rigidités (D_1 , D_2 , D_3) des matériaux orthotropes (M_1 , M_2 , M_3) des éléments en relief respectivement de la première portion médiane et des deuxième et troisième portions latérales, l'effort médian de couplage est de signe opposé à chaque effort latéral de couplage. Par conséquent, l'effort global de couplage, somme
- 20 algébrique de l'effort médian de couplage et des efforts latéraux de couplage, est de même signe que l'effort médian de couplage, et de même signe que l'effort global résultant freineur, orienté dans le sens opposé au déplacement du pneumatique. Par conséquent l'effort global de couplage contribue positivement à l'effort global freineur, ce qui diminue la part de l'effort global de glissement freineur, donc le glissement de la
- 25 bande roulement sur le sol et donc l'usure.

[0029] La première portion médiane est, de préférence, symétrique par rapport à un plan équatorial passant par le milieu de la bande de roulement et perpendiculaire à l'axe de rotation du pneumatique. Dans ce cas, les deuxième et troisième portions latérales ont des largeurs axiales égales.

- 30 [0030] Encore préférentiellement les angles orientés (A_{S2} , A_{S3}) respectifs des directions de plus grande rigidité (D_2 , D_3) des deuxième et troisième matériaux orthotropes (M_2 ,

M₃) constitutifs des deuxième et troisième portions latérales sont égaux entre eux. Cette caractéristique garantit un fonctionnement mécanique similaire des deux portions latérales.

[0031] Selon un premier mode de réalisation de l'orthotropie des matériaux, l'angle orienté A_C de la direction de plus grande rigidité D₁ du premier matériau orthotrope M₁ constitutif de la première portion médiane est égal à +25° et les angles orientés (A_{S2}, A_{S3}) respectifs des directions de plus grande rigidité (D₂, D₃) des deuxième et troisième matériaux orthotropes (M₂, M₃) constitutifs des deuxième et troisième portions latérales sont égaux à -25°. Selon ce mode de réalisation, les matériaux orthotropes (M₁, M₂, M₃) ont un mode de fonctionnement identique en compression suivant leur direction de plus grande rigidité (D₁, D₂, D₃).

[0032] Selon un deuxième mode de réalisation de l'orthotropie des matériaux, l'angle orienté A_C de la direction de plus grande rigidité D₁ du premier matériau orthotrope M₁ constitutif de la première portion médiane est égal à +25° et les angles orientés (A_{S2}, A_{S3}) respectifs des directions de plus grande rigidité (D₂, D₃) des deuxième et troisième matériaux orthotropes constitutifs (M₂, M₃) des deuxième et troisième portions latérales sont égaux à +65°. Selon ce mode de réalisation, le matériau orthotrope M₁ et les matériaux orthotropes (M₂, M₃) ont des modes de fonctionnement opposés suivant leur direction de plus grande rigidité D₁ d'une part (en compression), et (D₂, D₃) d'autre part (en extension).

[0033] Selon un troisième mode de réalisation de l'orthotropie des matériaux, l'angle orienté A_C de la direction de plus grande rigidité D₁ du premier matériau orthotrope M₁ constitutif de la première portion médiane est égal à -65° et les angles orientés (A_{S2}, A_{S3}) respectifs des directions de plus grande rigidité (D₂, D₃) des deuxième et troisième matériaux orthotropes (M₂, M₃) constitutifs des deuxième et troisième portions latérales sont égaux à -25°. Selon ce mode de réalisation, le matériau orthotrope M₁ et les matériaux orthotropes (M₂, M₃) ont des modes de fonctionnement opposés suivant leur direction de plus grande rigidité D₁ d'une part (en extension), et (D₂, D₃) d'autre part (en compression).

[0034] Selon un quatrième mode de réalisation de l'orthotropie des matériaux, l'angle orienté A_C de la direction de plus grande rigidité D₁ du premier matériau orthotrope M₁

constitutif de la première portion médiane est égal à -65° et les angles orientés (A_{S2} , A_{S3}) respectifs des directions de plus grande rigidité (D_2 , D_3) des deuxième et troisième matériaux orthotropes (M_2 , M_3) constitutifs des deuxième et troisième portions latérales sont égaux à $+65^\circ$. Selon ce mode de réalisation, les matériaux orthotropes (M_1 , M_2 , M_3) ont un mode de fonctionnement identique en extension suivant leur direction de plus grande rigidité (D_1 , D_2 , D_3).

[0035] Avantageusement les deuxième et troisième matériaux orthotropes (M_2 , M_3) constitutifs des deuxième et troisième portions latérales sont identiques. Cette caractéristique garantit un fonctionnement mécanique identique des deux portions latérales et un comportement similaire en usure.

[0036] Selon un premier type de matériau orthotrope, l'un au moins des premier, deuxième et troisième matériaux orthotropes (M_1 , M_2 , M_3) constitutifs respectivement de la première portion médiane et des deuxième et troisième portions latérales est un matériau composite à base d'une matrice élastomérique, d'un système de réticulation, d'une charge renforçante et de fibres courtes, lesdites fibres courtes :

- ayant une épaisseur comprise dans un domaine allant de 5 à 40 μm , une longueur comprise dans un domaine allant de 0,5 à 10 mm, et un module de Young dont la valeur est comprise dans un domaine allant de 0,5 à 800 GPa,
- étant présentes dans la matrice élastomérique à une concentration comprise dans un domaine allant de 5 à 30 parties en poids pour cent parties en poids d'élastomère,
- et étant orientées selon l'angle orienté (A_C , A_{S2} , A_{S3}) de la direction de plus grande rigidité (D_1 , D_2 , D_3) du matériau orthotrope (M_1 , M_2 , M_3).

[0037] On entend par "matériau composite" toute composition à base d'au moins une matrice élastomérique, d'un système de réticulation, d'une charge renforçante et de fibres courtes.

[0038] Par « composition à base de », on entend une composition comportant le mélange et/ou le produit de réaction des différents constituants utilisés, certains de ces constituants de base étant susceptibles de, ou destinés à, réagir entre eux, au moins en partie, lors des différentes phases de fabrication de la composition, en particulier au cours de sa réticulation ou vulcanisation. A titre d'exemple une composition à base d'une matrice élastomérique et de soufre comprend la matrice élastomérique et le soufre

avant cuisson, alors qu'après cuisson le soufre n'est plus détectable car ce dernier a réagi avec la matrice élastomérique en formant des ponts disulfure.

[0039] Une matrice élastomérique comprend le plus souvent un élastomère diénique, de préférence un élastomère choisi parmi les élastomères isopréniques, les copolymères butadiéniques et styréniques, les polybutadiènes et leurs mélanges.

[0040] Un système de réticulation peut être à base de soufre et/ou de donneurs de soufre et/ou de peroxyde et/ou de bismaléimides. Le système de réticulation est préférentiellement un système de vulcanisation, c'est-à-dire un système à base de soufre (ou d'un agent donneur de soufre) et d'un accélérateur primaire de vulcanisation. A ce système de vulcanisation de base viennent s'ajouter divers accélérateurs secondaires ou activateurs de vulcanisation connus tels qu'oxyde de zinc, acide stéarique ou composés équivalents, dérivés guanidiques (en particulier diphénylguanidine), ou encore des retardateurs de vulcanisation connus.

[0041] Une charge renforçante est connue pour ses capacités à renforcer une composition de caoutchouc utilisable pour la fabrication de pneumatiques. Une charge renforçante peut comprendre du noir de carbone, une charge organique autre que le noir de carbone, une charge inorganique ou le mélange d'au moins deux de ces charges. Préférentiellement, la charge renforçante peut comprendre majoritairement, voire exclusivement, du noir de carbone. La charge renforçante peut également comprendre majoritairement, voire exclusivement, une charge inorganique renforçante.

[0042] L'orthotropie du matériau composite et, en particulier, sa direction de plus grande rigidité, dans tout plan circonférentiel ZX, peut être obtenue à l'aide de fibres courtes orientées.

[0043] Les fibres courtes sont caractérisées géométriquement par leurs longueurs et leurs épaisseurs et peuvent être obtenues, par exemple, en coupant des fibres longues à la dimension souhaitée. Les longueurs de fibres courtes sont comprises dans un domaine allant de 0,5 à 10 mm, de préférence allant de 1 à 9 mm et, de préférence encore, allant de 2 à 8 mm. Leurs épaisseurs sont comprises dans un domaine allant de 5 à 40 μm , de préférence allant de 5 à 35 μm et, de préférence encore, allant de 10 à 30 μm . En respectant les plages de longueurs de 0,5 à 10 mm et d'épaisseurs de 5 à 40 μm précitées, le facteur de forme des fibres courtes, c'est-à-dire le rapport entre la longueur

et le l'épaisseur des fibres, est compris dans un domaine allant de 12,5 à 2000. De manière avantageuse, le facteur de forme peut être compris dans un domaine allant de 50 à 1500, de préférence de 100 à 1000. L'homme du métier peut mesurer l'épaisseur et/ou la longueur des fibres courtes par microscopie optique à l'aide d'une analyse
5 optique automatisée par l'une des méthodes décrites dans « A REVIEW OF IMAGE ANALYSIS BASED METHODS TO EVALUATE FIBER PROPERTIES », Ulrich Hirn et Wolfgang Bauer, Lenzinger Berichte, 86 (2006) 96-105.

[0044] En outre, les fibres courtes peuvent avoir toute section connue, par exemple cubique, cylindrique, étoilée. De préférence les fibres ont une section cylindrique. Dans
10 ce cas, l'épaisseur correspond au diamètre des fibres courtes.

[0045] Les fibres courtes sont caractérisées mécaniquement par leur module d'élasticité en extension ou module de Young, dont la valeur est comprise dans un domaine allant de 0,5 à 800 GPa, de préférence encore de 0,5 à 200 GPa, de préférence encore de 0,5 à 50 GPa. L'homme du métier peut mesurer le module de Young des fibres courtes selon
15 la norme ASTM D885 sur les fibres longues dont dérivent les fibres courtes.

[0046] Les fibres courtes peuvent être de toute nature permettant de leur conférer un module de Young dont la valeur est comprise dans un domaine allant de 0,5 à 300 GPa. Il peut s'agir par exemples de fibres de PET (« polytéréphtalate d'éthylène »), nylon, PBT (« Polytéréphtalate de butylène »), aramide, PBO (« Poly-p-phénylène
20 benzobisoxazole »), les fibres naturelles et le mélange d'au moins deux de ces fibres. Il peut s'agir par exemple de fibres Zylon® PBO-AS (Poly(p-phenylene-2,6-benzobisoxazole), Zylon® PBO-HM (Poly(p-phenylene-2,6-benzobisoxazole)), Dyneema® SK60 et SK71 polyéthylène à ultra haute densité, toutes commercialisées par la société Toyobo, Japon. Il peut également s'agir de fibres organiques composées
25 de polyamides aliphatiques, de polyesters, de polyacrylonitriles, de polyvinylalcools, de polyoléfines, de polyvinylchlorures, de polyvinylidènechlorures, de polyuréthanes, de polyfluorocarbures, de composés phénoliques, de polybenzimidazoles, de polyphénylènetriazoles, de polyphénylènesulfures, de polyoxadiazoles, de polyimides, de polyamides aromatiques ou d'un mélange de ceux-ci, de préférence de polyamide
30 aromatique est un (p-phénylène téréphtalamide), de poly(m-phénylène isophtalamide) ou un mélange de ceux-ci, ou de toute fibre organique décrites dans les brevets

US 3,869,430, US 3,869,429, US 3,767,756 et US 2,999,788. Par ailleurs, à titre d'exemple de fibres naturelles, on peut citer les fibres de cellulose, de coton et de bois. Avantageusement, les fibres courtes sont choisies parmi les fibres d'aramide et de nylon.

5 [0047] La quantité massique de fibres courtes au sein du matériau orthotrope est définie en "partie en poids pour cent parties en poids d'élastomère". Par l'expression "partie en poids pour cent parties en poids d'élastomère" (ou pce), il faut entendre, au sens de la présente invention, la part en masse pour cent parties en masse d'élastomère ou de caoutchouc.

10 [0048] L'homme du métier comprend bien que le matériau composite peut comprendre des fibres ayant une ou plusieurs caractéristiques différentes ou bien des fibres ayant toutes les mêmes caractéristiques. On entend par « caractéristiques des fibres courtes », l'épaisseur, la longueur, le rapport de forme, le module de Young ou la nature des fibres courtes. Avantageusement, les fibres courtes au sein du matériau composite, de
15 préférence au sein d'une sculpture, ont des caractéristiques identiques.

[0049] Selon l'invention, les fibres peuvent avantageusement être adhésiées, c'est-à-dire traitées de manière à améliorer leur adhésion à la matrice élastomérique. Par exemples, les fibres courtes peuvent être adhésiées avec une colle choisie parmi les colles époxy suivie d'un traitement au latex résorcinol-formaldéhyde (RFL) liquide et
20 les colles à base de formaldéhyde, de préférences les colles RFL. A titre d'exemple de colle RFL utilisable pour adhésier les fibres courtes, on peut citer celles décrites dans la demande WO 2001/057116.

[0050] L'homme du métier peut orienter ses choix de combinaison de fibres courtes et de matrice élastomérique sur la base des références suivantes : D.W. van Krevelen,
25 Properties of polymers: their correlation with chemical structure: their numerical estimation and prediction from additive group contributions ; Tucker, C. L. and Liang, E., Stiffness predictions for unidirectional short fiber composites: review and evaluation. Composites Science and Technology, 59, 655-71 (1999).

[0051] Ce premier type de matériau orthotrope à fibres courtes peut être utilisé pour
30 une, plusieurs ou toutes les portions de la bande de roulement.

[0052] Selon un deuxième type de matériau orthotrope, l'un au moins des premier, deuxième et troisième matériaux orthotropes (M_1 , M_2 , M_3) constitutifs respectivement de la première portion médiane et des deuxième et troisième portions latérales est un matériau composite comprenant une matrice élastomérique, un système de réticulation, une charge renforçante et de la pulpe, ladite pulpe :

-étant présente dans la matrice élastomérique à une concentration comprise dans un domaine allant de 5 à 45 parties en poids pour cent parties en poids d'élastomère,

-étant constituée par un matériau choisi parmi les polyamides aromatiques, les polybenzimidazoles, les polybenzothiazoles, les polybenzoxazoles, les polypyridazoles, les polybenzoxadiazoles, les polyesters aromatiques, les polyuréthannes, les polyétheréthercétones, les polyoléfines, les polyacryliques et les polymères à cristaux liquides, la cellulose, le verre et leurs mélanges,

-et étant orientée selon l'angle orienté (A_C , A_{S2} , A_{S3}) de la direction de plus grande rigidité (D_1 , D_2 , D_3) du matériau orthotrope (M_1 , M_2 , M_3).

[0053] Ce deuxième type de matériau orthotrope diffère du premier type de matériau orthotrope par la présence de pulpe, au lieu de fibres courtes, pour assurer l'orthotropie du matériau.

[0054] La pulpe, également appelée « pâte », est un matériau selon la BISFA (The international Bureau For the Standardisation Of Man-Made Fibres) dans son édition de 2009 « Terminology of man-made fibres ». C'est un terme générique pour les matériaux fibrés traités pour différentes applications telles que les fibres, le papier ou autres composés. La pulpe peut être produite par coupure mécanique de fibres continues. La pulpe comprend des fibres fibrillées c'est-à-dire des fibres avec des fibrilles (une subdivision de la fibre) attachées aux fibres. La pulpe comprend également une autre forme connue sous le nom de micropulpe qui peut être produite selon le procédé décrit dans la demande WO 03/044250.

[0055] Selon l'invention, la pulpe est dans un matériau choisi parmi les polyamides aromatiques, les polybenzimidazoles, les polybenzothiazoles, les polybenzoxazoles, les polypyridazoles, les polybenzoxadiazoles, les polyesters aromatiques, les polyuréthannes, les polyétheréthercétones, les polyoléfines, les polyacryliques et les polymères à cristaux liquides, la cellulose, le verre et leurs mélanges.

[0056] De préférence, la pulpe est dans un matériau choisi parmi les polyamides aromatiques, les polybenzimidazoles, les polybenzothiazoles, les polybenzoxazoles, les polypyridazoles, les polybenzoxadiazoles, les polyesters aromatiques, les polyuréthanes, les polyétheréthercétone, les polyoléfines, les polyacryliques et les polymères à cristaux liquides et leurs mélanges. De préférence encore, la pulpe est dans un matériau choisi parmi les polyamides aromatiques, les polybenzoxazoles et les polyoléfines.

[0057] Avantageusement, la pulpe est choisie parmi la pulpe d'aramide, la pulpe de polyéthylène à très haute masse moléculaire (UHMWPE Ultra High Molecular Weight Polyethylene), la pulpe de polybenzoxazole, la pulpe de polypyridazoles et plus préférentiellement la pulpe de para-aramide et la pulpe de polybenzoxazole. De préférence, la pulpe est de la pulpe d'aramide.

[0058] Les fibres qui composent la pulpe ont généralement une longueur comprise entre 0,1 et 10 mm, de préférence entre 0,1 et 8 mm avec un diamètre entre 1 et 40 μm . Les fibres sous forme de micropulpe ont généralement une longueur comprise entre 0,01 et 100 μm , de préférence entre 0,1 et 50 μm .

[0059] La pulpe peut, par exemple, être une pulpe telle que décrite dans les brevets EP 0 445 655, US 2004/0191192, WO 03/044250, US 4,871,004, US 2,999,788.

[0060] A titre d'exemple de pulpes disponibles dans le commerce, on peut citer la pulpe Kevlar®Aramid commercialisée par la société DuPont, Wilmington, Delaware, la pulpe d'aramide Twaron®pulp de TeijinTM, la pulpe Celanese Vectran® HS commercialisée par la société Engineering Fibers Technology, Shelton, Connecticut, ou encore la pulpe CFF Fibrillated Acrylic Fiber commercialisée par la société Sterling Fibers Inc, Pace, Florida.

[0061] La pulpe peut être ajoutée directement dans la matrice élastomérique ou est incorporée sous forme de pré-mix c'est-à-dire que les fibres sont préalablement dispersées dans une matrice élastomérique pour faciliter leur incorporation dans la formulation finale.

[0062] Selon l'invention, la pulpe est présente dans la matrice élastomérique à une concentration comprise dans un domaine allant de 5 à 45 pce. Avantageusement, la

teneur en pulpe peut être comprise dans un domaine allant de 5 à 30 pce, de préférence de 5 à 20 pce, de préférence encore de 5 à 15 pce, de préférence encore de 5 à 10 pce.

[0063] Bien que cela ne soit pas obligatoire pour la mise en œuvre de la présente invention, la pulpe peut être adhésivée, c'est-à-dire traitée de manière à améliorer son adhésion à la matrice élastomérique. Par exemples, la pulpe peut être adhésivée avec une colle choisie parmi les colles époxy suivie d'un traitement au latex résorcinol-formaldéhyde (RFL) liquide et les colles à base de formaldéhyde, de préférences les colles RFL. A titre d'exemple de colle RFL utilisable pour adhérer la pulpe, on peut citer celles décrites dans la demande WO 2001/057116.

10 [0064] Ce deuxième type de matériau orthotrope à pulpe peut être utilisé pour une, plusieurs ou toutes les portions de la bande de roulement.

[0065] Enfin, selon un troisième type de matériau orthotrope, l'un au moins des premier, deuxième et troisième matériaux orthotropes (M_1 , M_2 , M_3) constitutifs respectivement de la première portion médiane et des deuxième et troisième portions latérales est un matériau composite comprenant une pluralité de couches parallèles, adjacentes entre elles, et dont la direction normale est perpendiculaire à l'angle orienté (A_C , A_{S2} , A_{S3}) de la direction de plus grande rigidité (D_1 , D_2 , D_3) du matériau orthotrope (M_1 , M_2 , M_3) dans le plan ZX, la pluralité de couches comprenant des couches constituées par une composition à bas module de rigidité dont le module de rigidité en extension à 5% de déformation est compris dans un domaine allant de 2 à 8 MPa et des couches constituées par une composition à haut module de rigidité dont le module de rigidité en extension à 5% de déformation est compris dans un domaine allant de 30 MPa à 50 GPa.

[0066] Une composition à bas module de rigidité est une composition dont le module d'extension à 5% de déformation est compris dans un domaine allant de 2 à 8 MPa. De préférence, le module d'extension à 5% de déformation de la composition à bas module de rigidité est compris dans un domaine allant de 3 à 6 MPa. L'homme du métier peut mesurer la rigidité dont le module d'extension à 5% de déformation selon une méthode basée sur la norme NF ISO 37 de Décembre 2005 sur une éprouvette haltère de type 2 et mesurer le module d'élasticité à 5% de déformation à 23°C.

[0067] La composition à bas module de rigidité peut être, avantageusement, une composition élastomérique à base d'une matrice élastomérique, au moins une charge renforçante et au moins un système de réticulation.

5 [0068] Une composition à haut module de rigidité est une composition dont le module d'extension à 5% de déformation est compris dans un domaine allant de 30 MPa à 50 GPa. De préférence, le module d'extension à 5% de déformation de la composition à haut module de rigidité est compris dans un domaine allant de 30 à 300 MPa, de préférence de 40 à 200 MPa.

10 [0069] L'homme du métier dispose de nombreux moyens pour obtenir une composition à haut module de rigidité. Par exemple, l'homme du métier peut utiliser des taux élevés de charge renforçante et/ou de système de réticulation et/ou des fibres renforçantes, par exemple dans une matrice élastomérique. Il peut également, alternativement ou de façon complémentaire, utiliser des matériaux thermoplastiques ou des élastomères thermoplastiques.

15 [0070] Ainsi, selon une première variante de réalisation, la composition à haut module de rigidité peut être une composition élastomérique à base d'une matrice élastomérique, au moins une charge renforçante, au moins un système de réticulation. Selon une deuxième variante de réalisation, la composition à haut module de rigidité peut être un thermoplastique. Enfin, selon une troisième variante de réalisation, la composition à
20 haut module de rigidité peut comprendre un élastomère thermoplastique (TPE).

[0071] Ce troisième type de matériau orthotrope, constitué par une alternance de couches respectivement constituées par des compositions à bas module de rigidité et à haut module de rigidité, peut être utilisé pour une, plusieurs ou toutes les portions de la bande de roulement.

25 [0072] Les caractéristiques de l'invention sont illustrées par les figures schématiques et non représentées à l'échelle, décrites ci-après :

-figure 1A : cycle aller de montée en charge d'un dumper

-figure 1B : cycle retour de descente à vide d'un dumper

30 -figure 2A : vue de dessus partielle d'une bande de roulement de pneumatique selon l'invention

-figure 2B : vue en coupe d'un élément en relief de la première portion médiane

-figure 2C : vue en coupe d'un élément en relief d'une deuxième ou troisième portion latérale

-figure 3A : fonctionnement mécanique d'un élément en relief de la première portion médiane, sous couple moteur et en charge, dans le cas d'un angle orienté A_C au moins égal à $+15^\circ$ et au plus égal à $+35^\circ$

-figure 3B : fonctionnement mécanique d'un élément en relief de la première portion médiane, sous couple moteur et en charge, dans le cas d'un angle orienté A_C au moins égal à -75° et au plus égal à -55°

10 -figure 3C : fonctionnement mécanique d'un élément en relief d'une deuxième portion latérale, sous couple moteur et en charge, dans le cas d'un angle orienté A_{S2} au moins égal à -35° et au plus égal à -15°

-figure 3D : fonctionnement mécanique d'un élément en relief d'une deuxième portion latérale, sous couple moteur et en charge, dans le cas d'un angle orienté A_{S2} au moins égal à $+55^\circ$ et au plus égal à $+75^\circ$

15 -figure 4A : fonctionnement mécanique d'un élément en relief de la première portion médiane, sous couple freineur et à vide, dans le cas d'un angle orienté A_C au moins égal à $+15^\circ$ et au plus égal à $+35^\circ$

20 -figure 4B : fonctionnement mécanique d'un élément en relief de la première portion médiane, sous couple freineur et à vide, dans le cas d'un angle orienté A_C au moins égal à -75° et au plus égal à -55°

-figure 4C : fonctionnement mécanique d'un élément en relief d'une deuxième portion latérale, sous couple freineur et à vide, dans le cas d'angle orienté A_{S2} au moins égal à -35° et au plus égal à -15°

25 -figure 4D : fonctionnement mécanique d'un élément en relief d'une deuxième portion latérale, sous couple freineur et à vide, dans le cas d'angle orienté A_{S2} au moins égal à $+55^\circ$ et au plus égal à $+75^\circ$

30 -figures 5A, 5B, 5C, 5D : combinaisons d'angles orientés (A_C , A_{S2} , A_{S3}) des directions de plus grandes rigidités (D_1 , D_2 , D_3) des matériaux orthotropes (M_1 , M_2 , M_3) des éléments en relief (31, 32, 33) respectivement de la première portion médiane et d'une deuxième ou troisième portions latérales

-figure 6 : variation de l'effort de couplage élémentaire C_E en fonction de l'angle A de la direction de plus grande rigidité d'un matériau orthotrope selon l'invention

-figure 7A : courbes canoniques d'usure en fonction de l'effort global résultant pour un pneumatique de l'état de la technique E et pour un pneumatique selon l'invention I, en charge

-figure 7B : courbes canoniques d'usure en fonction de l'effort global résultant pour un pneumatique de l'état de la technique E et pour un pneumatique selon l'invention I, à vide.

[0073] Sur la figure 1A, est représenté un cycle aller de montée en charge d'un dumper. Le dumper en charge monte une pente d'angle A. Chaque pneumatique 1, monté sur essieu moteur, est soumis à un couple moteur T_M et à une charge P_C . Les réactions du sol sur la bande de roulement 2 du pneumatique sont respectivement un effort circonférentiel moteur R_{CX} , orienté selon le sens de déplacement V du dumper, et un effort radial R_{CZ} .

[0074] Sur la figure 1B, est représenté un cycle retour de descente à vide d'un dumper. Le dumper à vide descend une pente d'angle A. Chaque pneumatique 1, monté sur essieu moteur, est soumis à un couple freineur T_F et à une charge P_V . Les réactions du sol sur la bande de roulement 2 du pneumatique sont respectivement un effort circonférentiel freineur R_{VX} , orienté dans le sens opposé au déplacement V du dumper, et un effort radial R_{VZ} .

[0075] La figure 2A est une vue de dessus partielle d'une bande de roulement 2 de pneumatique selon l'invention. La bande de roulement 2 a une largeur totale W_T et comprend une première portion médiane 21, axialement délimitée par respectivement une deuxième et une troisième portions latérales (22, 23). La première portion médiane 21 a une largeur médiane W_C au moins égale à 20% et au plus égale à 50% de la largeur totale W_T , et comprend des éléments en relief 31, séparés les uns des autres par des découpures 41, chaque élément en relief 31 comprenant une face d'attaque 51, destinée à entrer en contact en premier avec un sol et une face de fuite 61, destinée à entrer en contact en dernier avec le sol. Chacune des deuxième et troisième portions latérales (22, 23) a respectivement une largeur latérale (W_{S2} , W_{S3}) au moins égale à 25% et au plus égale à 40% de la largeur totale W_T , et comprend respectivement des éléments en relief (32, 33), séparés les uns des autres par des découpures (42, 43), chaque élément en relief (32, 33) comprenant une face d'attaque (52, 53) et une face de fuite (62, 63).

[0076] La figure 2B est une vue en coupe d'un élément en relief 31 de la première portion médiane. Chaque élément en relief 31 comprend une face d'attaque 51, destinée à entrer en contact en premier avec un sol, une face de fuite 61, destinée à entrer en contact en dernier avec le sol, et une face de contact 71, destinée à entrer en contact
5 intégral avec le sol. Dans un repère local ZX défini par un axe circonférentiel X, tangent à la circonférence du pneumatique et orienté dans le sens du déplacement du véhicule, et par un axe radial Z, perpendiculaire à la circonférence du pneumatique et orienté vers l'extérieur du pneumatique, la direction de plus grand rigidité D_1 du matériau orthotrope M_1 constitutif de l'élément en relief 31 forme, avec l'axe radial Z, un angle A_C positif,
10 orienté dans le sens trigonométrique ou sens direct dans le plan ZX, et compris dans un intervalle allant de $+15^\circ$ à $+35^\circ$. Le cas où l'angle A_C est compris dans un intervalle allant de -75° à -55° n'est pas ici représenté.

[0077] De façon analogue, la figure 2C est une vue en coupe d'un élément en relief 32 d'une deuxième portion latérale. Chaque élément en relief 32 comprend une face
15 d'attaque 5, destinée à entrer en contact en premier avec un sol, une face de fuite 62, destinée à entrer en contact en dernier avec le sol, et une face de contact 72, destinée à entrer en contact intégral avec le sol. Dans un repère local ZX défini par un axe circonférentiel X, tangent à la circonférence du pneumatique et orienté dans le sens du déplacement du véhicule, et par un axe radial Z, perpendiculaire à la circonférence du
20 pneumatique et orienté vers l'extérieur du pneumatique, la direction de plus grand rigidité D_2 du matériau orthotrope M_2 constitutif de l'élément en relief 32 forme, avec l'axe radial Z, un angle A_C négatif, orienté dans le sens inverse du sens trigonométrique ou sens indirect dans le plan ZX, et compris dans un intervalle allant de -35° à -15° . Le cas où l'angle A_C est compris dans un intervalle allant de $+55^\circ$ à $+75^\circ$ n'est pas ici
25 représenté.

[0078] Les figures 3A et 3B schématisent le fonctionnement mécanique d'un élément en relief 31 de la première portion médiane, sous couple moteur T_M et en charge, le pneumatique ayant un sens de rotation R et le véhicule se déplaçant selon le sens V, pour les deux intervalles admissibles d'angle A_C de la direction de plus grande rigidité
30 D_1 du matériau orthotrope M_1 . L'élément en relief 31 est soumis à un effort élémentaire résultant R_E , orienté de l'arête d'attaque vers l'arête de fuite de la face de contact 71,

c'est-à-dire dans le sens du déplacement V du véhicule. L'effort élémentaire résultant R_E est la somme algébrique d'un effort élémentaire de couplage C_E , orienté de l'arête de fuite vers l'arête d'attaque de la face de contact 71, c'est-à-dire dans le sens opposé au déplacement V du véhicule, et d'un effort élémentaire de glissement G_E , orienté de l'arête d'attaque vers l'arête de fuite de la face de contact 71, c'est-à-dire dans le sens du déplacement V du véhicule. L'orientation de l'effort élémentaire de couplage C_E résulte du choix particulier de l'angle orienté A_C de la direction de plus grande rigidité D_1 du matériau orthotrope M_1 . Sur la figure 3A, l'angle orienté A_C est au moins égal à $+15^\circ$ et au plus égal à $+35^\circ$, et le matériau orthotrope M_1 est mis en compression suivant sa direction de plus grande rigidité D_1 , en réaction à l'effort radial P appliqué à l'élément 31, et l'élément en relief 31 tend à se déformer selon une inclinaison positive par rapport à l'axe Z . Sur la figure 3B, l'angle orienté A_C est au moins égal à -75° et au plus égal à -55° , et le matériau orthotrope M_1 , est mis en extension suivant sa direction de plus grande rigidité D_1 , en réaction à l'effort radial P appliqué à l'élément 31, et l'élément en relief 31 tend à se déformer également selon une inclinaison positive par rapport à l'axe Z . Le même sens de couplage C_E est ainsi obtenu pour les deux intervalles d'angles A_C , définissant des directions de plus grande rigidité D_1 perpendiculaires entre elles.

[0079] Les figures 3C et 3D schématisent le fonctionnement mécanique d'un élément en relief 32 d'une deuxième portion latérale (valable également pour une troisième portion latérale), sous couple moteur T_M et en charge, le pneumatique ayant un sens de rotation R et le véhicule se déplaçant selon le sens V , pour les deux intervalles admissibles d'angles A_{S2} de la direction de plus grande rigidité D_2 du matériau orthotrope M_2 . L'élément en relief 32 est soumis à un effort élémentaire résultant R_E , orienté de l'arête d'attaque vers l'arête de fuite de la face de contact 72, c'est-à-dire dans le sens du déplacement V du véhicule. L'effort élémentaire résultant R_E est la somme algébrique d'un effort élémentaire de couplage C_E et d'un effort élémentaire de glissement G_E , tous deux orientés de l'arête d'attaque vers l'arête de fuite de la face de contact 72, c'est-à-dire dans le sens du déplacement V du véhicule. L'orientation de l'effort élémentaire de couplage C_E résulte du choix particulier de l'angle orienté A_{S2} de la direction de plus grande rigidité D_2 du matériau orthotrope M_2 . Sur la figure 3C, l'angle orienté A_{S2} est au moins égal à -35° et au plus égal à -15° , et le matériau

- orthotrope M_2 , est mis en compression suivant sa direction de plus grande rigidité D_2 , en réaction à l'effort radial P appliqué à l'élément 32, et l'élément en relief 32 tend à se déformer selon une inclinaison négative par rapport à l'axe Z . Sur la figure 3D, l'angle orienté A_{S2} est au moins égal à $+55^\circ$ et au plus égal à $+75^\circ$, et le matériau orthotrope
- 5 M_2 , est mis en extension suivant sa direction de plus grande rigidité D_2 , en réaction à l'effort radial P appliqué à l'élément 32, et l'élément en relief 32 tend à se déformer également selon une inclinaison négative par rapport à l'axe Z . Le même sens de couplage C_E est ainsi obtenu pour les deux intervalles d'angles A_{S2} , définissant des directions de plus grande rigidité D_2 perpendiculaires entre elles.
- 10 **[0080]** Les figures 4A et 4B schématisent le fonctionnement mécanique d'un élément en relief 31 de la première portion médiane, sous couple freineur T_F et à vide, le pneumatique ayant un sens de rotation R et le véhicule se déplaçant selon le sens V , pour les deux intervalles admissibles d'angles A_C de la direction de plus grande rigidité D_1 du matériau orthotrope M_1 . L'élément en relief 31 est soumis à un effort élémentaire
- 15 résultant R_E , orienté de l'arête de fuite vers l'arête d'attaque de la face de contact 71, c'est-à-dire dans le sens opposé au déplacement V du véhicule. L'effort élémentaire résultant R_E est la somme algébrique d'un effort élémentaire de couplage C_E et d'un effort élémentaire de glissement G_E , tous deux orientés de l'arête de fuite vers l'arête d'attaque de la face de contact 71, c'est-à-dire dans le sens opposé au déplacement V du
- 20 véhicule. L'orientation de l'effort élémentaire de couplage C_E résulte du choix particulier de l'angle orienté A_C de la direction de plus grande rigidité D_1 du matériau orthotrope M_1 . Sur la figure 4A, l'angle orienté A_C est au moins égal à $+15^\circ$ et au plus égal à $+35^\circ$, et le matériau orthotrope M_1 , est mis en extension suivant sa direction de plus grande rigidité D_1 , en réaction à l'effort radial P appliqué à l'élément 31, et
- 25 l'élément en relief tend à se déformer selon une inclinaison négative par rapport à l'axe Z . Sur la figure 4B, l'angle orienté A_C est au moins égal à -75° et au plus égal à -55° , et le matériau orthotrope M_1 , est mis en compression suivant sa direction de plus grande rigidité D_1 , en réaction à l'effort radial P appliqué à l'élément 31, et l'élément en relief tend à se déformer également selon une inclinaison négative par rapport à l'axe Z . Le
- 30 même sens de couplage C_E est ainsi obtenu pour les deux intervalles d'angles A_C , définissant des directions de plus grande rigidité D_1 perpendiculaires entre elles.

[0081] Les figures 4C et 4D schématisent le fonctionnement mécanique d'un élément en relief 32 d'une deuxième portion latérale (valable également pour une troisième portion latérale), sous couple freineur T_F et à vide, le pneumatique ayant un sens de rotation R et le véhicule se déplaçant selon le sens V , pour les deux intervalles admissibles d'angle A_{S2} de la direction de plus grande rigidité D_2 du matériau orthotrope M_2 . L'élément en relief 32 de la deuxième portion latérale est soumis à un effort élémentaire résultant R_E , orienté de l'arête de fuite vers l'arête d'attaque de la face de contact 72, c'est-à-dire dans le sens opposé V au déplacement du véhicule. L'effort élémentaire résultant R_E est la somme algébrique d'un effort élémentaire de couplage C_E , orienté de l'arête d'attaque vers l'arête de fuite de la face de contact 72, c'est-à-dire dans le sens du déplacement V du véhicule, et d'un effort élémentaire de glissement G_E , orienté de l'arête de fuite vers l'arête d'attaque de la face de contact 72, c'est-à-dire dans le sens opposé au déplacement V du véhicule. L'orientation de l'effort élémentaire de couplage C_E résulte du choix particulier de l'angle orienté A_{S2} de la direction de plus grande rigidité D_2 du matériau orthotrope M_2 . Sur la figure 4C, l'angle orienté A_{S2} est au moins égal à -35° et au plus égal à -15° , et le matériau orthotrope M_2 , est mis en extension suivant sa direction de plus grande rigidité D_2 , en réaction à l'effort radial P appliqué à l'élément 32, et l'élément en relief 32 tend à se déformer selon une inclinaison positive par rapport à l'axe Z . Sur la figure 4D, l'angle orienté A_{S2} est au moins égal à $+55^\circ$ et au plus égal à $+75^\circ$, et le matériau orthotrope M_2 , est mis en compression suivant sa direction de plus grande rigidité D_2 , en réaction à l'effort radial P appliqué à l'élément 32, et l'élément en relief 32 tend à se déformer également selon une inclinaison positive par rapport à l'axe Z . Le même sens de couplage C_E est ainsi obtenu pour les deux intervalles d'angles A_{S2} , définissant des directions de plus grande rigidité D_2 perpendiculaires entre elles.

[0082] Les figures 5A à 5D définissent les quatre combinaisons d'angles orientés (A_C , A_{S2} , A_{S3}) des directions de plus grandes rigidités (D_1 , D_2 , D_3) des matériaux orthotropes (M_1 , M_2 , M_3) des éléments en relief (31, 32, 33) respectivement de la première portion médiane et d'une deuxième ou troisième portions latérales, possibles dans le cadre de l'invention. La figure 5A présente une première combinaison dans laquelle l'angle orienté A_C est au moins égal $+15^\circ$ et au plus égal à $+35^\circ$, et l'angle orienté (A_{S2} , A_{S3}) est au moins égal à -35° et au plus égal à -15° . La figure 5B présente une deuxième

combinaison dans laquelle l'angle orienté A_C est au moins égal $+15^\circ$ et au plus égal à $+35^\circ$, et l'angle orienté (A_{S2}, A_{S3}) est au moins égal à $+55^\circ$ et au plus égal à $+75^\circ$. La figure 5C présente une troisième combinaison dans laquelle l'angle orienté A_C est au moins égal à -75° et au plus égal à -55° , et l'angle orienté (A_{S2}, A_{S3}) est au moins égal à -35° et au plus égal à -15° . Enfin la figure 5D présente une quatrième combinaison dans laquelle l'angle orienté A_C est au moins égal à -75° et au plus égal à -55° , et l'angle orienté (A_{S2}, A_{S3}) est au moins égal à $+55^\circ$ et au plus égal à $+75^\circ$.

[0083] La figure 6 présente la variation de l'effort de couplage élémentaire C_E en fonction de l'angle A de la direction de plus grande rigidité D d'un matériau orthotrope M selon l'invention. Les inventeurs ont montré que, sur la plage d'angles $[-90^\circ, +90^\circ]$, l'effort de couplage élémentaire C_E présente deux minima respectivement dans les plages d'angles $[-75^\circ, -55^\circ]$ et $[+15^\circ, +35^\circ]$, et deux maxima respectivement dans les plages d'angles $[-35^\circ, -15^\circ]$ et $[+55^\circ, +75^\circ]$. Sur la base de cette constatation, les plages d'angles correspondant aux minima ont été retenues pour définir l'angle A_C de plus grand rigidité D_1 du matériau orthotrope M_1 constitutif de tout élément de la première portion médiane, alors que les plages d'angles correspondant aux maxima sont retenues pour définir l'angle (A_{S2}, A_{S3}) de la direction de plus grand rigidité (D_2, D_3) du matériau orthotrope (M_2, M_3) constitutif de tout élément de la deuxième ou troisième portion latérale.

[0084] La figure 7A représente des courbes canoniques d'usure types en fonction de l'effort global résultant respectivement pour un pneumatique de l'état de la technique E et pour un pneumatique selon l'invention I , en charge. En ordonnée, l'indicateur d'usure U est une perte de masse (par exemple, exprimé en g/km) ou une perte de hauteur de sculpture (par exemple, exprimé en mm/km). En abscisse, est représenté l'effort global résultant R_G (par exemple, exprimé en daN), appliqué sur la bande de roulement par le sol. Par rapport à un pneumatique de l'état de la technique E , l'ajout d'un effort global de couplage C_{GM} moteur permet de décaler d'une valeur C_{GM} la courbe canonique d'usure dans le sens des efforts globaux résultants R_G croissants. A effort global résultant moteur R_{GM} donné, l'indicateur d'usure U décroît de la valeur U_E pour un pneumatique de l'état de la technique à la valeur U_I pour un pneumatique selon l'invention, d'où un gain en usure DU .

[0085] La figure 7B représente des courbes canoniques d'usure types en fonction de l'effort global résultant respectivement pour un pneumatique de l'état de la technique E et pour un pneumatique selon l'invention I, à vide. Par rapport à un pneumatique de l'état de la technique E, l'ajout d'un effort global de couplage C_{GF} freineur permet de
5 décaler d'une valeur C_{GF} la courbe canonique d'usure dans le sens des efforts globaux résultants R_G décroissants. A effort global résultant freineur R_{GF} donné, l'indicateur d'usure U décroît de la valeur U_E pour un pneumatique de l'état de la technique à la valeur U_I pour un pneumatique selon l'invention, d'où un gain en usure DU .

[0086] L'invention a été plus particulièrement étudiée dans le cas d'un pneumatique de
10 dimension 40.00R57, équipant un dumper rigide de 320 tonnes de charge totale, et dans le cas d'un pneumatique de dimension 24.00R35, équipant un dumper rigide de 100 tonnes de charge totale.

[0087] Le tableau 1 ci-dessous présente un exemple de répartition des charges et des efforts de couplage, entre la première portion médiane et les deuxième et troisième
15 portions latérales d'une bande de roulement d'un pneumatique selon l'invention, le pneumatique étant monté sur un essieu arrière d'un dumper minier effectuant une alternance de cycles aller de montée en charge et de cycles retour de descente à vide.

	Première portion médiane	Deuxième portion latérale	Troisième portion latérale	Bande de roulement globale
Charge appliquée Z, en charge sous couple moteur	$0.4*Z_C$	$0.3*Z_C$	$0.3*Z_C$	Z_C
Effort de couplage C, en charge sous couple moteur	$-X*0.4*Z_C$	$+X*0.3*Z_C$	$+X*0.3*Z_C$	$+X*0.2*Z_C$
Charge appliquée Z, à vide sous couple freineur	$0.8*Z_V$	$0.1*Z_V$	$0.1*Z_V$	Z_V
Effort de couplage C, à vide sous couple freineur	$-X*0.8*Z_V$	$+X*0.1*Z_V$	$+X*0.1*Z_V$	$-X*0.6*Z_V$

Tableau 1

[0088] Dans le tableau 1, les efforts Z sont les charges appliquées par portion de bande de roulement et globalement sur toute la bande de roulement, et les efforts C sont les efforts de couplage correspondants. Le rapport $C/Z=X$ est, par définition, le taux de couplage.

[0089] Sous couple moteur et en charge, la première portion médiane porte 40% de la charge totale Z_C et les deuxième et troisième portions latérales portent 60% de la charge totale Z_C , car la bande de roulement est en contact total avec le sol sur toute sa largeur. Les sens des efforts de couplage étant inversés entre portion médiane et portions

latérales, l'effort de couplage global, égal à $+X$ fois 20% de la charge totale Z_C , s'ajoute à l'effort global de glissement moteur.

- 5 [0090] Sous couple freineur et à vide, la première portion médiane porte 80% de la charge totale Z_V et les deuxième et troisième portions latérales portent seulement 20% de la charge totale Z_V , car la bande de roulement est en contact partiel avec le sol au niveau des deuxième et troisième portions latérales. Les sens des efforts de couplage étant inversés entre portion médiane et portions latérales, l'effort de couplage global, égal à $-X$ fois 60% de la charge totale Z_V , s'ajoute à l'effort global de glissement freineur.
- 10 [0091] Dans l'exemple précédemment décrit, les taux de couplage sont supposés identiques entre la première portion médiane et les deuxième et troisième portions latérales. Plus généralement, ces taux de couplage respectivement médian et latéraux peuvent être différents.

REVENDICATIONS

1 – Pneumatique (1) pour véhicule lourd de type génie civil destiné à un usage mines, caractérisé par une alternance de roulages en charge sur une pente ascendante et à vide
5 sur une pente descendante:

-le pneumatique comprenant une bande de roulement (2) ayant une largeur totale (W_T) et comprenant une première portion médiane (21), axialement intérieure à respectivement une deuxième et une troisième portions latérales (22, 23),

10 -la première portion médiane (21) ayant une largeur médiane (W_C) au moins égale à 20% et au plus égale à 50% de la largeur totale (W_T), et comprenant des éléments en relief (31), séparés les uns des autres par des découpures (41), chaque élément en relief (31) comprenant une face d'attaque (51), destinée à entrer en contact en premier avec un sol par l'intermédiaire d'une arête d'attaque, une face de fuite (61), destinée à entrer en contact en dernier avec le sol par l'intermédiaire d'une arête de fuite, et une face de
15 contact (71), destinée à entrer en contact intégral avec le sol,

-chacune des deuxième et troisième portions latérales (22, 23) ayant respectivement une largeur latérale (W_{S2} , W_{S3}) au moins égale à 25% et au plus égale à 40% de la largeur totale (W_T), et comprenant respectivement des éléments en relief (32, 33), séparés les uns des autres par des découpures (42, 43), chaque élément en relief (32, 33)
20 comprenant une face d'attaque (52, 53), une face de fuite (62, 63), et une face de contact (72, 73),

-tout élément en relief (31, 32, 33) de la première portion médiane (21) et des deuxième et troisième portions latérales (22, 23), lorsqu'il est en contact avec le sol par l'intermédiaire de sa face de contact (71, 72, 73), étant décrit dans un plan
25 circonférentiel (ZX), défini par une direction radiale (Z), perpendiculaire à la face de contact et orientée vers l'extérieur du pneumatique, et par une direction circonférentielle (X), tangente à la circonférence du pneumatique et orientée depuis l'arête d'attaque vers l'arête de fuite,

caractérisé en ce que tout élément en relief (31) de la première portion médiane (21)
30 est constitué par un premier matériau orthotrope (M_1) ayant une direction de plus grande rigidité (D_1) orientée vers l'extérieur du pneumatique, formant, dans tout plan circonférentiel (ZX) et avec l'axe (Z), un angle orienté (A_C) au moins égal à $+15^\circ$ et au

plus égal à $+35^\circ$, ou au moins égal à -75° et au plus égal à -55° , **et en ce que** tout élément en relief (32, 33) des deuxième et troisième portions latérales (22, 23) est constitué respectivement par un deuxième et un troisième matériaux orthotropes (M_2 , M_3) ayant respectivement une direction de plus grande rigidité (D_2 , D_3) orientée vers
5 l'extérieur du pneumatique, formant dans tout plan circonférentiel (ZX) et avec l'axe (Z), un angle orienté (A_{S2} , A_{S3}) au moins égal à -35° et au plus égal à -15° , ou au moins égal à $+55^\circ$ et au plus égal à $+75^\circ$.

2 – Pneumatique (1) pour véhicule lourd de type génie civil selon la revendication 1
10 **dans lequel** la première portion médiane (21) est symétrique par rapport à un plan équatorial (ZX) passant par le milieu de la bande de roulement (2) et perpendiculaire à l'axe de rotation (YY') du pneumatique.

3 – Pneumatique (1) pour véhicule lourd de type génie civil selon l'une des revendications 1 ou 2 **dans lequel** les angles orientés (A_{S2} , A_{S3}) respectifs des directions de plus grande rigidité (D_2 , D_3) des deuxième et troisième matériaux orthotropes (M_2 ,
15 M_3) constitutifs des deuxième et troisième portions latérales (22, 23) sont égaux entre eux.

4 – Pneumatique (1) pour véhicule lourd de type génie civil selon la revendication 3
dans lequel l'angle orienté (A_C) de la direction de plus grande rigidité (D_1) du premier matériau orthotrope (M_1) constitutif de la première portion médiane (21) est égal à $+25^\circ$
20 **et dans lequel** les angles orientés (A_{S2} , A_{S3}) respectifs des directions de plus grande rigidité (D_2 , D_3) des deuxième et troisième matériaux orthotropes (M_2 , M_3) constitutifs des deuxième et troisième portions latérales (22, 23) sont égaux à -25° .

5 – Pneumatique (1) pour véhicule lourd de type génie civil selon la revendication 3
dans lequel l'angle orienté (A_C) de la direction de plus grande rigidité (D_1) du premier
25 matériau orthotrope (M_1) constitutif de la première portion médiane (21) est égal à $+25^\circ$
et dans lequel les angles orientés (A_{S2} , A_{S3}) respectifs des directions de plus grande rigidité (D_2 , D_3) des deuxième et troisième matériaux orthotropes constitutifs (M_2 , M_3) des deuxième et troisième portions latérales (22, 23) sont égaux à $+65^\circ$.

6 – Pneumatique (1) pour véhicule lourd de type génie civil selon la revendication 3
30 **dans lequel** l'angle orienté (A_C) de la direction de plus grande rigidité (D_1) du premier matériau orthotrope (M_1) constitutif de la première portion médiane (21) est égal à -65°

et dans lequel les angles orientés (A_{S2} , A_{S3}) respectifs des directions de plus grande rigidité (D_2 , D_3) des deuxième et troisième matériaux orthotropes (M_2 , M_3) constitutifs des deuxième et troisième portions latérales (22, 23) sont égaux à -25° .

7 – Pneumatique (1) pour véhicule lourd de type génie civil selon la revendication 3
 5 **dans lequel** l'angle orienté (A_C) de la direction de plus grande rigidité (D_1) du premier matériau orthotrope (M_1) constitutif de la première portion médiane (21) est égal à -65°
et dans lequel les angles orientés (A_{S2} , A_{S3}) respectifs des directions de plus grande rigidité (D_2 , D_3) des deuxième et troisième matériaux orthotropes (M_2 , M_3) constitutifs des deuxième et troisième portions latérales (22, 23) sont égaux à $+65^\circ$.

10 8 – Pneumatique (1) pour véhicule lourd de type génie civil selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 **dans lequel** les deuxième et troisième matériaux orthotropes (M_2 , M_3) constitutifs des deuxième et troisième portions latérales (22, 23) sont identiques.

9 – Pneumatique (1) pour véhicule lourd de type génie civil selon l'une quelconque des revendications 1 à 8 **dans lequel** l'un au moins des premier, deuxième et troisième
 15 matériaux orthotropes (M_1 , M_2 , M_3) constitutifs respectivement de la première portion médiane (21) et des deuxième et troisième portions latérales (22, 23) est un matériau composite comprenant une matrice élastomérique, un système de réticulation, une charge renforçante et des fibres courtes, lesdites fibres courtes :

-ayant une épaisseur comprise dans un domaine allant de 5 à 40 μm , une longueur
 20 comprise dans un domaine allant de 0,5 à 10 mm, et un module de Young dont la valeur est comprise dans un domaine allant de 0,5 à 800 GPa,

-étant présentes dans la matrice élastomérique à une concentration comprise dans un domaine allant de 5 à 30 parties en poids pour cent parties en poids d'élastomère,
 -et étant orientées selon l'angle orienté (A_C , A_{S2} , A_{S3}) de la direction de plus grande
 25 rigidité (D_1 , D_2 , D_3) du matériau orthotrope (M_1 , M_2 , M_3).

10 – Pneumatique (1) pour véhicule lourd de type génie civil selon l'une quelconque des revendications 1 à 8 **dans lequel** l'un au moins des premier, deuxième et troisième
 matériaux orthotropes (M_1 , M_2 , M_3) constitutifs respectivement de la première portion médiane (21) et des deuxième et troisième portions latérales (22, 23) est un matériau
 30 composite comprenant une matrice élastomérique, un système de réticulation, une charge renforçante et de la pulpe, ladite pulpe :

- 33 -

- étant présente dans la matrice élastomérique à une concentration comprise dans un domaine allant de 5 à 45 parties en poids pour cent parties en poids d'élastomère,
 - étant constituée par un matériau choisi parmi les polyamides aromatiques, les polybenzimidazoles, les polybenzothiazoles, les polybenzoxazoles, les polypyridazoles,
 - 5 les polybenzoxadiazoles, les polyesters aromatiques, les polyuréthannes, les polyétheréthercétones, les polyoléfines, les polyacryliques et les polymères à cristaux liquides, la cellulose, le verre et leurs mélanges,
 - et étant orienté selon l'angle orienté (A_C , A_{S2} , A_{S3}) de la direction de plus grande rigidité (D_1 , D_2 , D_3) du matériau orthotrope (M_1 , M_2 , M_3).
- 10 **11** – Pneumatique (1) pour véhicule lourd de type génie civil selon l'une quelconque des revendications 1 à 8 **dans lequel** l'un au moins des premier, deuxième et troisième matériaux orthotropes (M_1 , M_2 , M_3) constitutifs respectivement de la première portion médiane (21) et des deuxième et troisième portions latérales (22, 23) est un matériau composite comprenant une pluralité de couches parallèles, adjacentes entre elles, et dont
- 15 la normale est perpendiculaire dans le plan (ZX) à l'angle orienté (A_C , A_{S2} , A_{S3}) de la direction de plus grande rigidité (D_1 , D_2 , D_3) du matériau orthotrope (M_1 , M_2 , M_3), la pluralité de couches comprenant des couches constituées par une composition à bas module de rigidité dont le module de rigidité en extension à 5% de déformation est compris dans un domaine allant de 2 à 8 MPa et des couches constituées par une
- 20 composition à haut module de rigidité dont le module de rigidité en extension à 5% de déformation est compris dans un domaine allant de 30 MPa à 50 GPa.

1 / 7

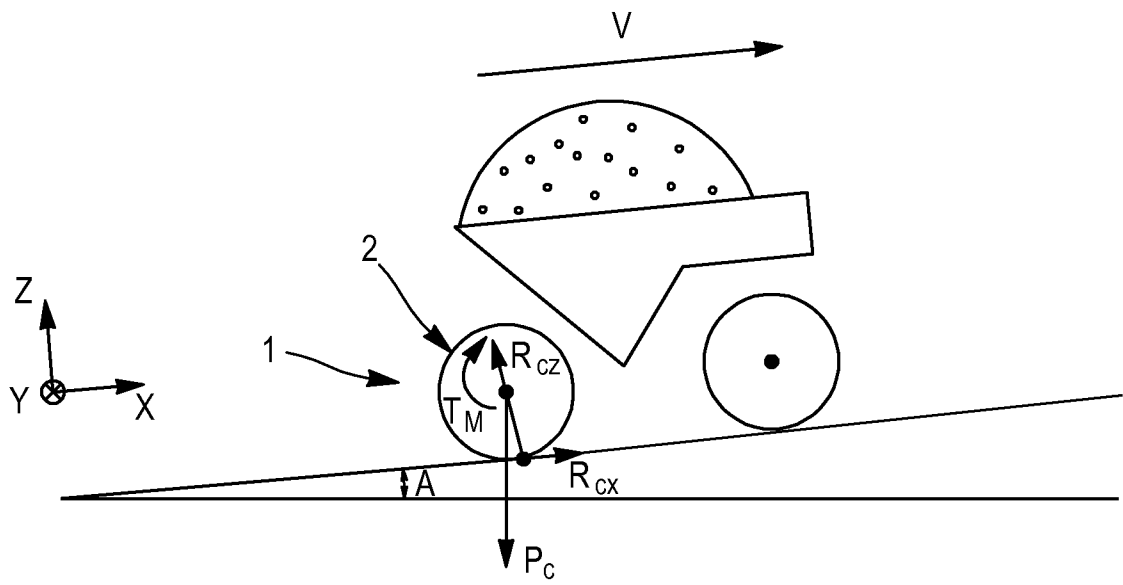


FIG. 1A

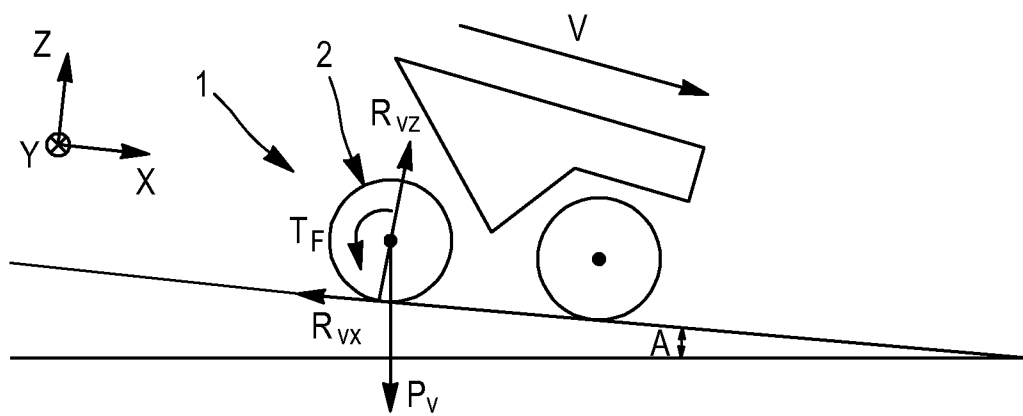


FIG. 1B

2 / 7

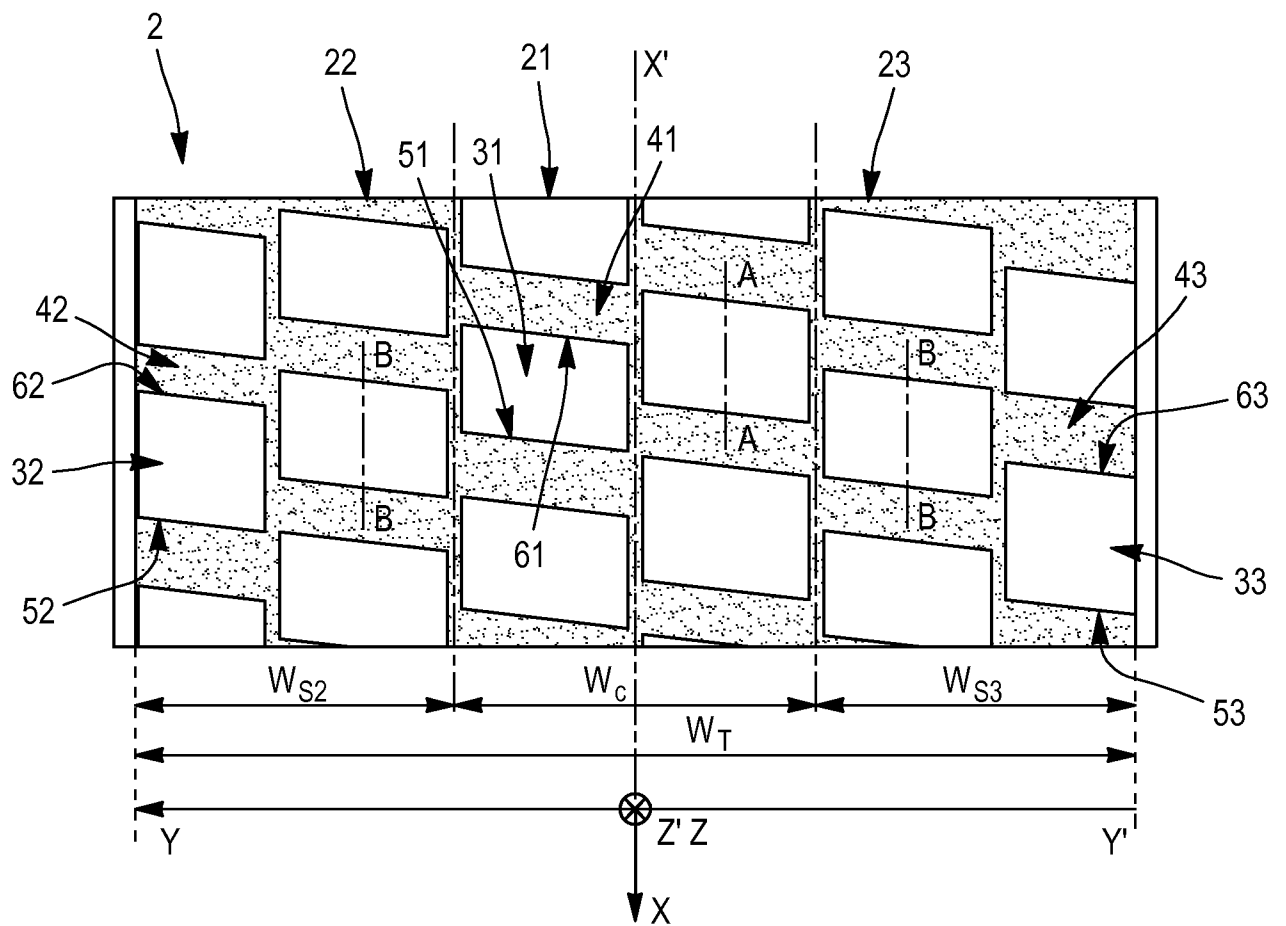
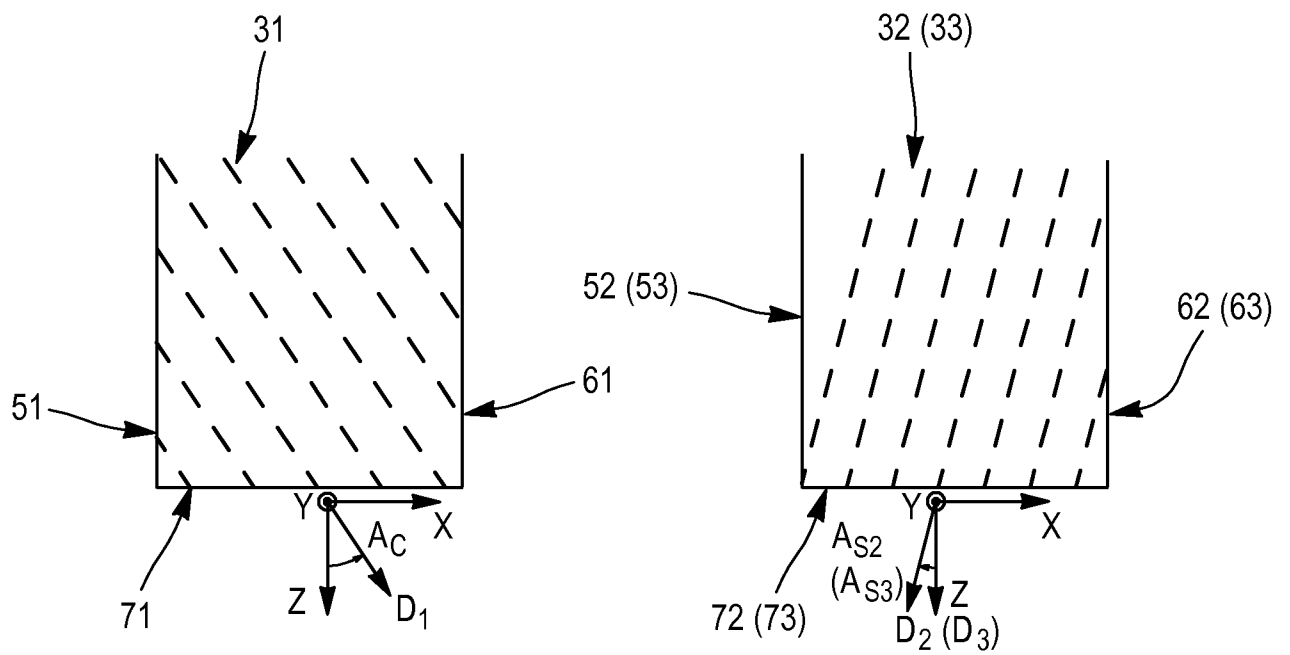


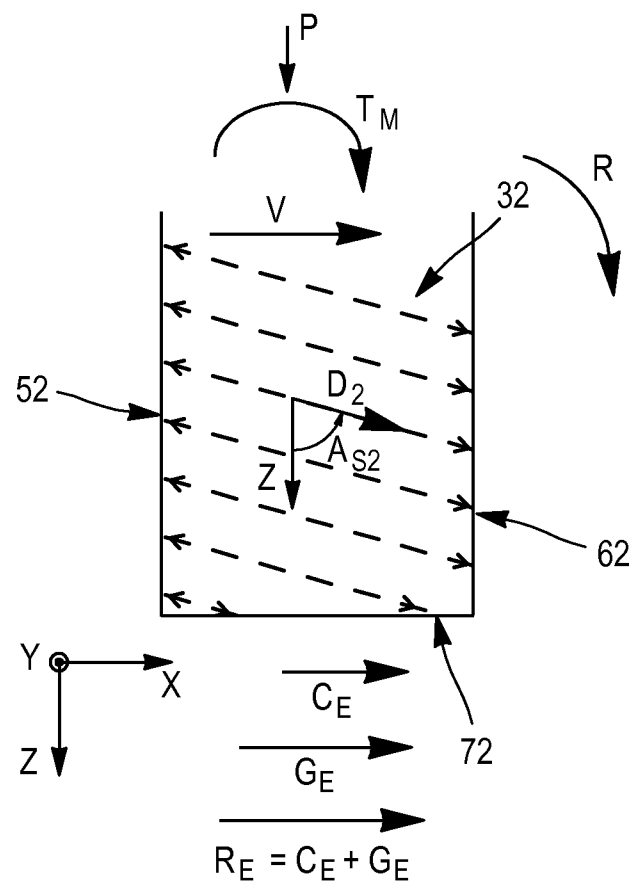
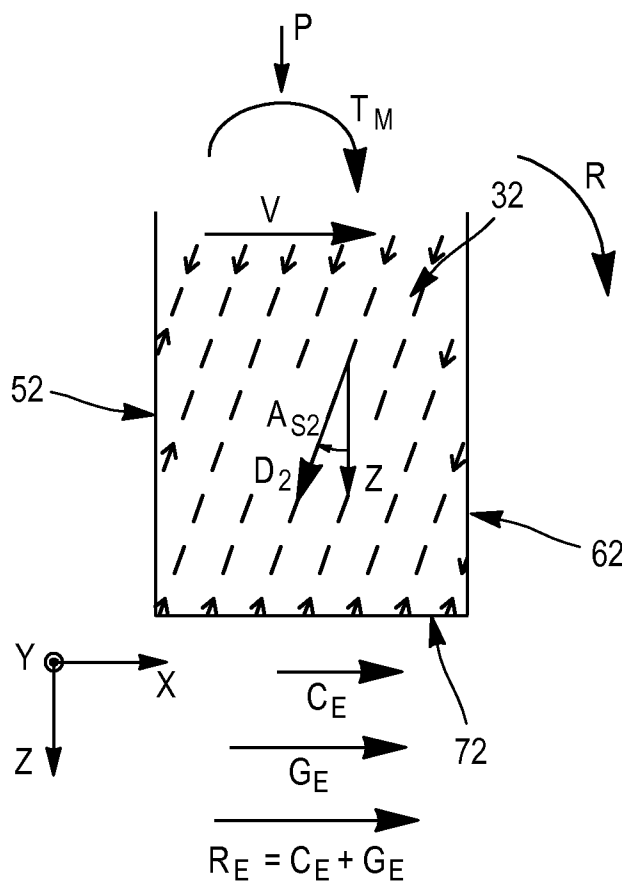
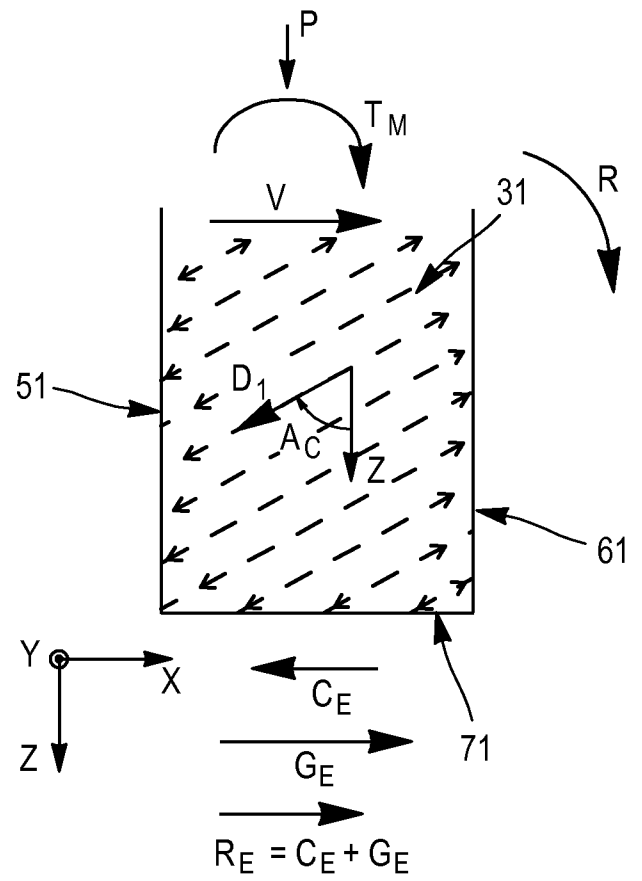
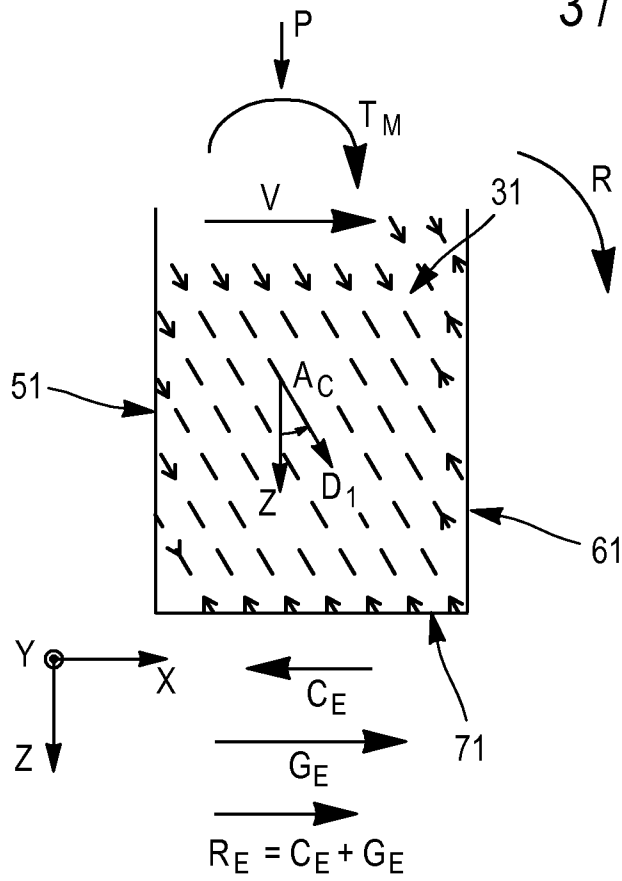
FIG. 2A



A-A
FIG. 2B

B-B
FIG. 2C

3 / 7



4 / 7

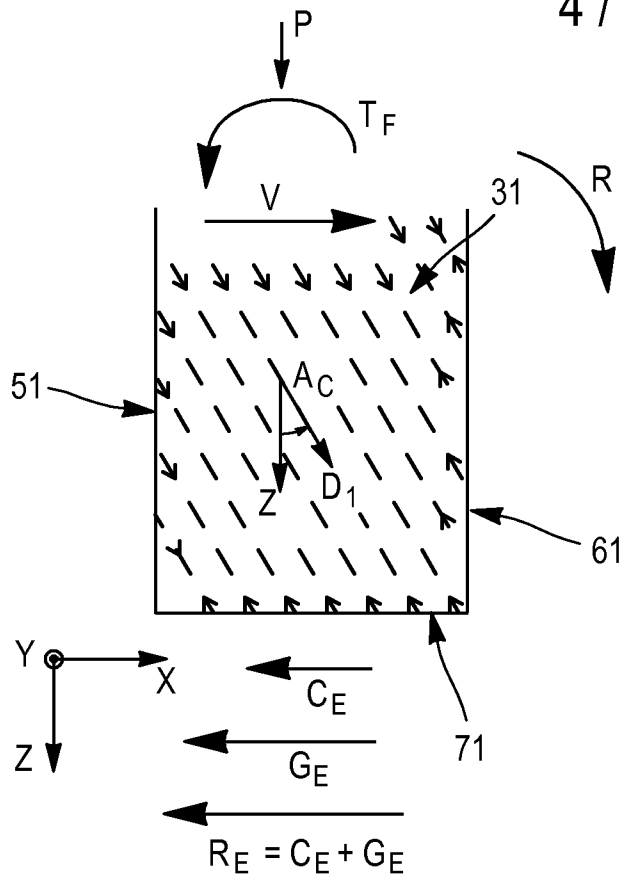


FIG. 4A

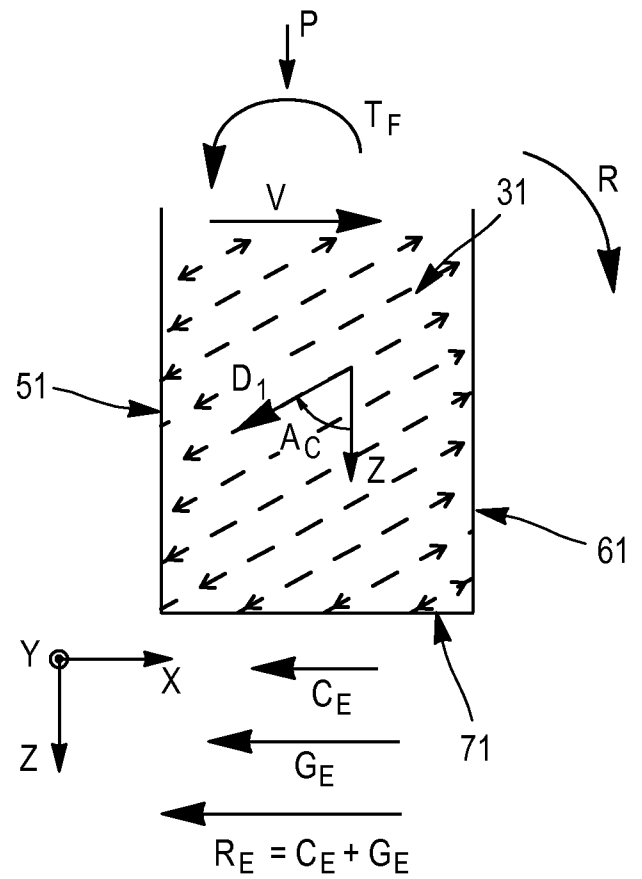


FIG. 4B

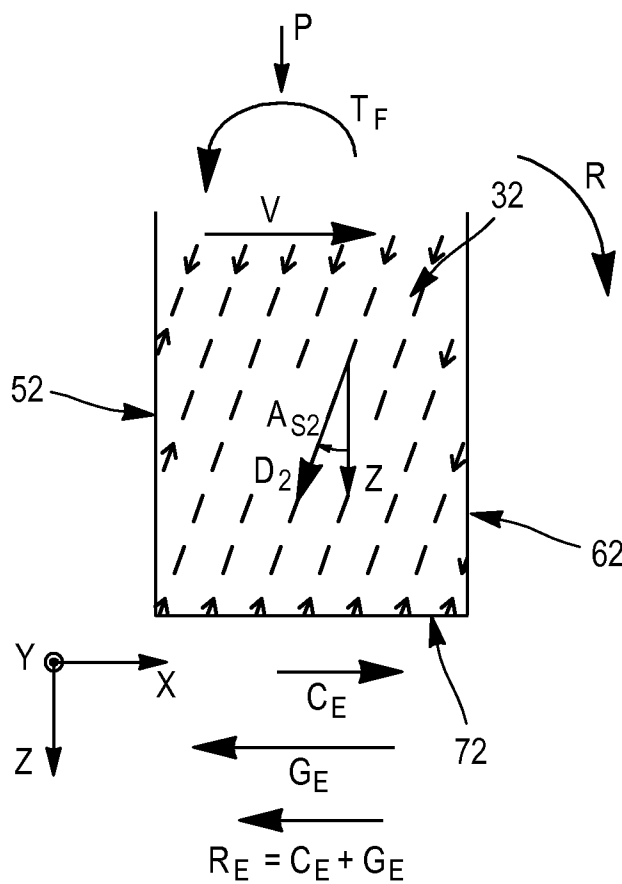


FIG. 4C

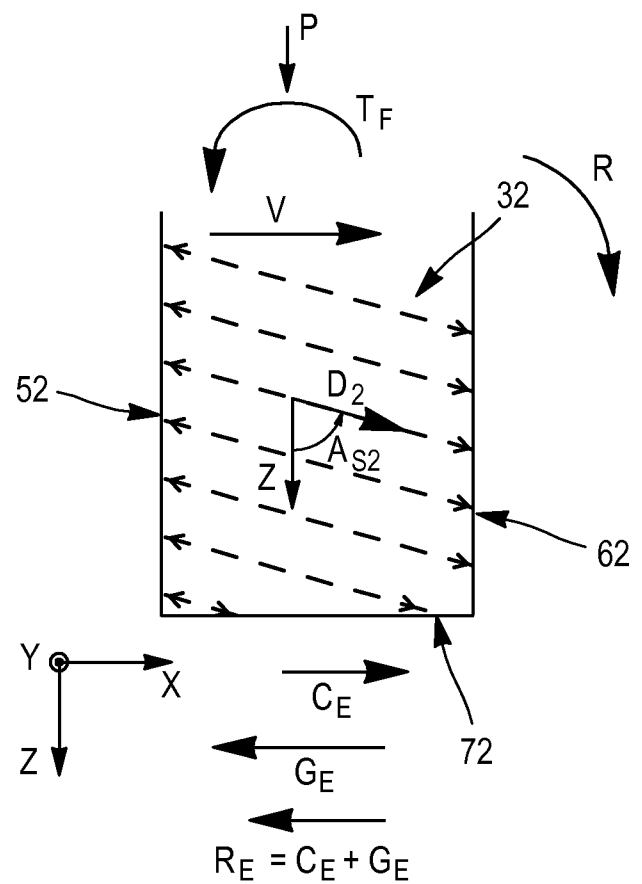


FIG. 4D

5 / 7

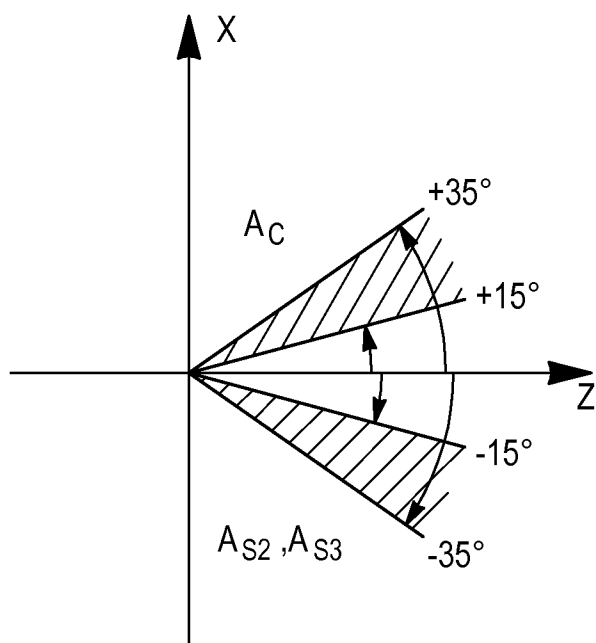


FIG. 5A

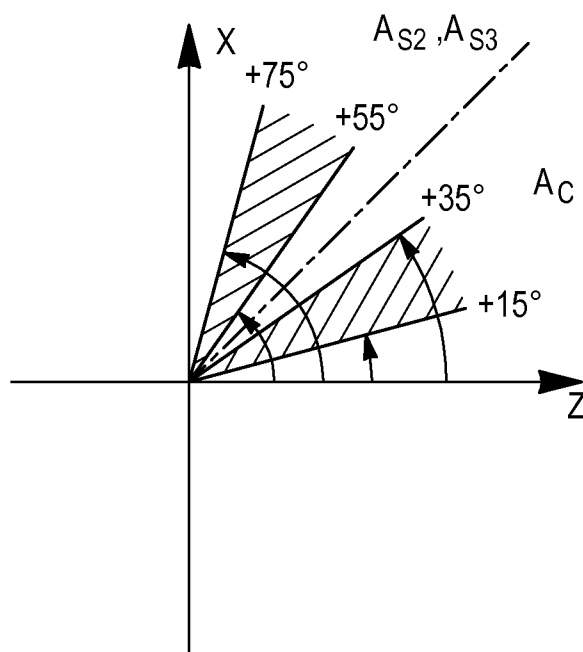


FIG. 5B

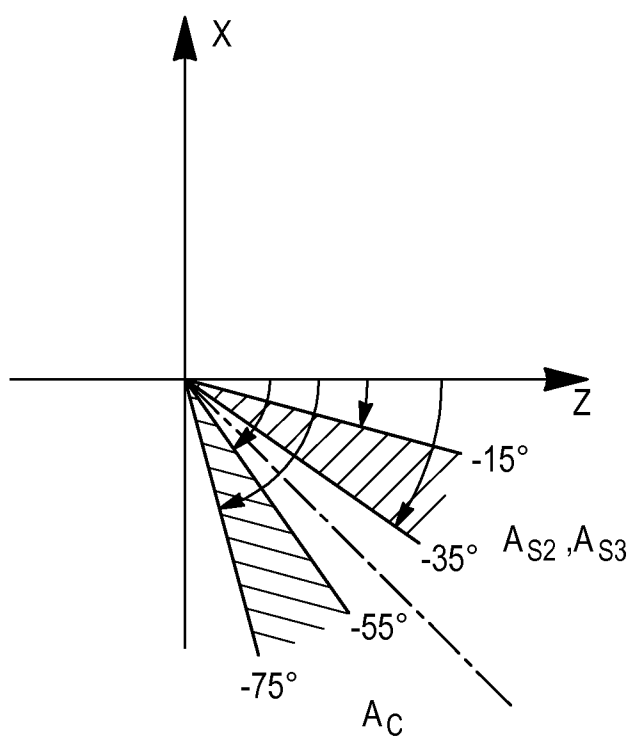


FIG. 5C

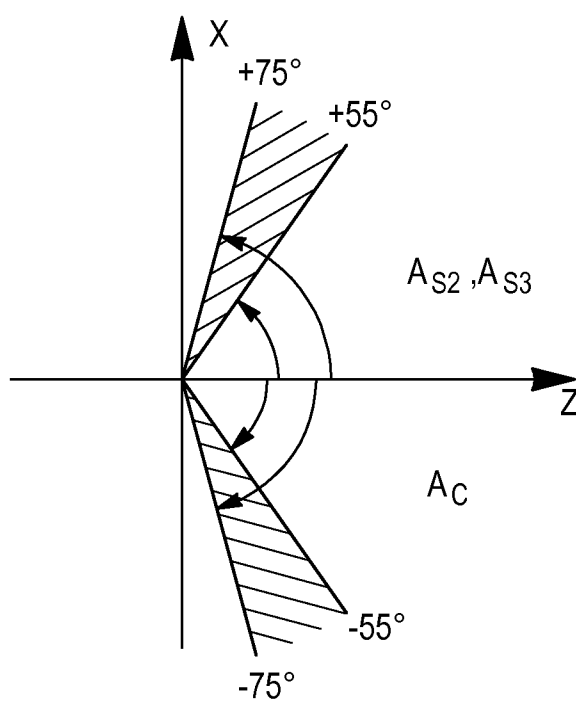


FIG. 5D

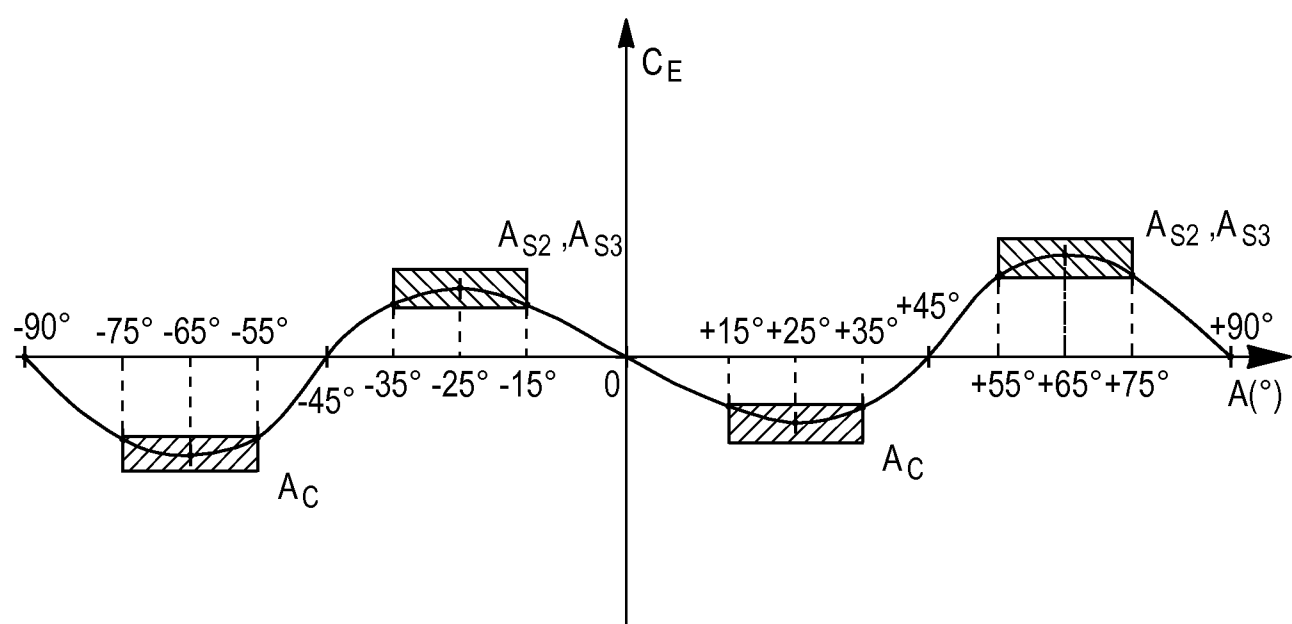


FIG. 6

7 / 7

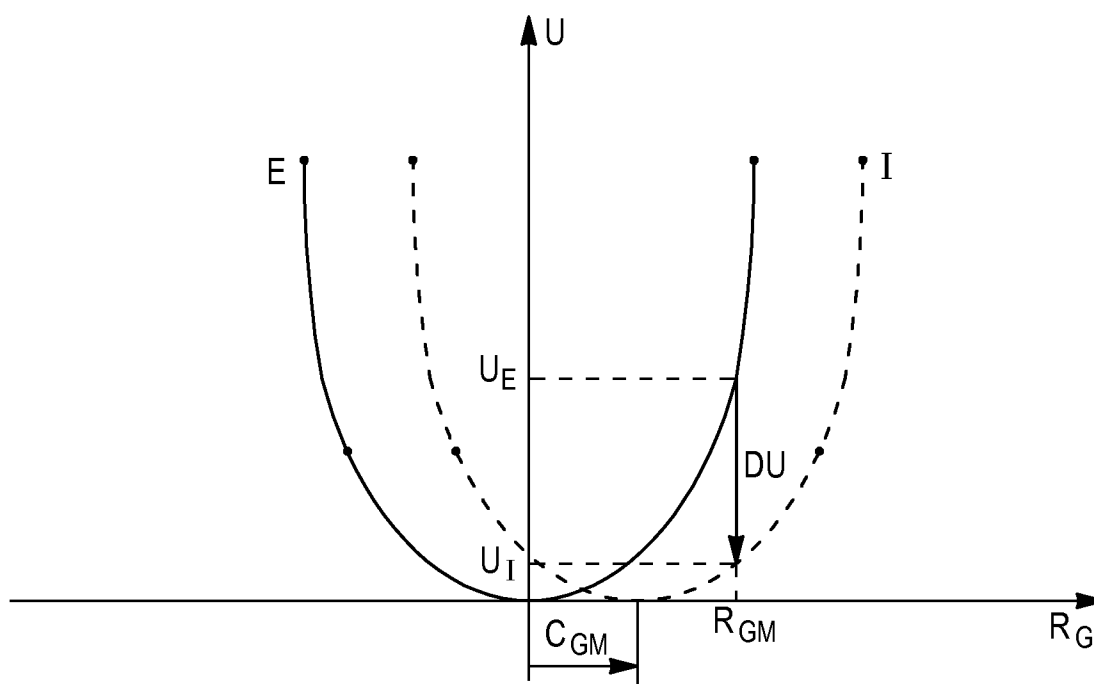


FIG. 7A

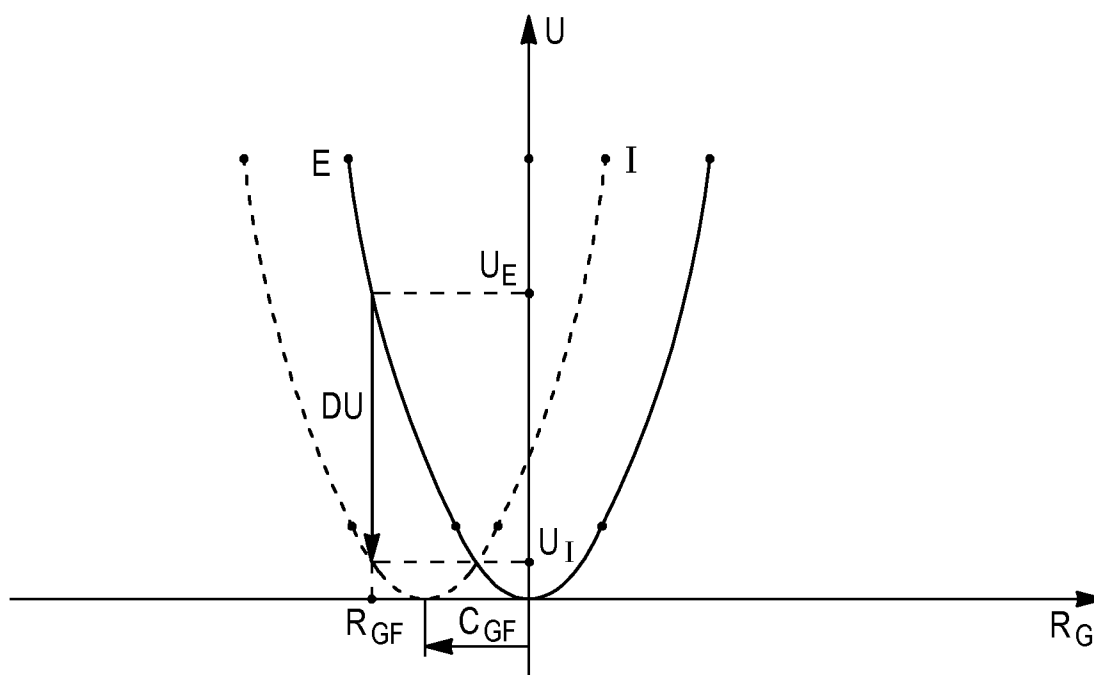


FIG. 7B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2017/051322

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. B60C11/11

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2004/085175 A1 (MICHELIN SOC TECH [FR]; MICHELIN RECH TECH [CH]; Vervaet Patrick [FR]) 7 October 2004 (2004-10-07) cited in the application paragraphs [0039] - [0051]; claim 1; figures 1-4	1-11
A	FR 2 953 456 A1 (MICHELIN SOC TECH [FR]; MICHELIN RECH TECH [CH]) 10 June 2011 (2011-06-10) paragraphs [0029] - [0037]; figures 1-4	1-11
A	JP H10 129214 A (SUMITOMO RUBBER IND) 19 May 1998 (1998-05-19) paragraphs [0013] - [0036]; figures 1-3	1-11
A	JP 2010 254242 A (BRIDGESTONE CORP) 11 November 2010 (2010-11-11) paragraphs [0018] - [0059]; figures 1-5	1-11



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

10 August 2017

Date of mailing of the international search report

22/08/2017

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

Flori, Massimiliano

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2017/051322

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2004085175	A1	07-10-2004	
		AU 2004224179 A1	07-10-2004
		CN 1764555 A	26-04-2006
		EP 1606125 A1	21-12-2005
		JP 4597960 B2	15-12-2010
		JP 2006521236 A	21-09-2006
		US 2006037684 A1	23-02-2006
		WO 2004085175 A1	07-10-2004

FR 2953456	A1	10-06-2011	
		BR 112012013567 A2	01-03-2017
		CN 102753366 A	24-10-2012
		EA 201290472 A1	30-01-2013
		EP 2509805 A1	17-10-2012
		FR 2953456 A1	10-06-2011
		JP 5859453 B2	10-02-2016
		JP 2013512826 A	18-04-2013
		US 2012312439 A1	13-12-2012
		WO 2011069924 A1	16-06-2011

JP H10129214	A	19-05-1998	NONE

JP 2010254242	A	11-11-2010	NONE

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2017/051322

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. B60C11/11 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) 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) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	WO 2004/085175 A1 (MICHELIN SOC TECH [FR]; MICHELIN RECH TECH [CH]; Vervaet Patrick [FR]) 7 octobre 2004 (2004-10-07) cité dans la demande alinéas [0039] - [0051]; revendication 1; figures 1-4 -----	1-11
A	FR 2 953 456 A1 (MICHELIN SOC TECH [FR]; MICHELIN RECH TECH [CH]) 10 juin 2011 (2011-06-10) alinéas [0029] - [0037]; figures 1-4 -----	1-11
A	JP H10 129214 A (SUMITOMO RUBBER IND) 19 mai 1998 (1998-05-19) alinéas [0013] - [0036]; figures 1-3 -----	1-11
A	JP 2010 254242 A (BRIDGESTONE CORP) 11 novembre 2010 (2010-11-11) alinéas [0018] - [0059]; figures 1-5 -----	1-11
☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "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) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "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 "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 "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 "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 10 août 2017		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 22/08/2017
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Flori, Massimiliano

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2017/051322

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2004085175 A1	07-10-2004	AU 2004224179 A1 CN 1764555 A EP 1606125 A1 JP 4597960 B2 JP 2006521236 A US 2006037684 A1 WO 2004085175 A1	07-10-2004 26-04-2006 21-12-2005 15-12-2010 21-09-2006 23-02-2006 07-10-2004
FR 2953456 A1	10-06-2011	BR 112012013567 A2 CN 102753366 A EA 201290472 A1 EP 2509805 A1 FR 2953456 A1 JP 5859453 B2 JP 2013512826 A US 2012312439 A1 WO 2011069924 A1	01-03-2017 24-10-2012 30-01-2013 17-10-2012 10-06-2011 10-02-2016 18-04-2013 13-12-2012 16-06-2011
JP H10129214 A	19-05-1998	AUCUN	
JP 2010254242 A	11-11-2010	AUCUN	