

⑫ **BREVET D'INVENTION** **B1**

⑤④ architecture optimisée de pneumatique génie civil.

②② Date de dépôt : 14.12.22.

③③ Priorité :

⑥③ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *COMPAGNIE GENERALE DES
ETABLISSEMENTS MICHELIN Société en
commandite par actions — FR.*

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 21.06.24 Bulletin 24/25.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 15.11.24 Bulletin 24/46.

⑦② Inventeur(s) : ESTENNE Vincent et LAURENT
Stéphane.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦③ Titulaire(s) : *COMPAGNIE GENERALE DES
ETABLISSEMENTS MICHELIN Société en
commandite par actions.*

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



Description

Titre de l'invention : architecture optimisée de pneumatique génie civil

- [0001] La présente invention a pour objet un pneumatique radial, destiné à équiper un véhicule lourd de génie civil, et concerne plus particulièrement l'armature de sommet d'un tel pneumatique.
- [0002] Les pneumatiques radiaux destinés à équiper un véhicule lourd de type génie civil, sont désignés au sens de la norme de la European Tyre and Rim Technical Organisation (Organisation technique européenne du pneu et de la jante) ou ETRTO.
- [0003] Par exemple un pneumatique radial pour véhicule lourd de type génie civil, au sens de la norme de la European Tyre and Rim Technical Organisation (Organisation technique européenne du pneu et de la jante) ou ETRTO, est destiné à être monté sur une jante dont le diamètre est au moins égal à 25 pouces. Bien que non limitée à ce type d'application, l'invention est décrite pour un pneumatique radial de grande dimension destiné à être monté sur un dumper, notamment des véhicules de transport de matériaux extraits de carrières ou de mines de surface, par l'intermédiaire d'une jante dont le diamètre est au moins égal à 35 pouces et peut atteindre 57 pouces, voire 63 pouces.
- [0004] Un pneumatique ayant une géométrie de révolution par rapport à un axe de rotation, la géométrie du pneumatique est généralement décrite dans un plan méridien contenant l'axe de rotation du pneumatique. Pour un plan méridien 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 méridien. La direction circonférentielle est tangente à la circonférence du pneumatique.
- [0005] Dans ce qui suit, 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 et perpendiculaire à l'axe de rotation. Par « un élément A axialement intérieur à un élément B d'une distance axiale D », on entend que l'élément A est plus proche du plan équateur que l'élément B et que la distance axiale entre les deux éléments est égale à la distance D. Ce type de phrase est généralisable avec la direction radiale et circonférentielle et la position extérieure versus intérieure, de l'un ou l'autre des éléments.

- [0006] De façon générale un pneumatique comprend une bande de roulement, destinée à venir en contact avec un sol par l'intermédiaire d'une surface de roulement, dont les deux extrémités axiales sont reliées par l'intermédiaire de deux flancs à deux bourrelets assurant la liaison mécanique entre le pneumatique et la jante sur laquelle il est destiné à être monté.
- [0007] Un pneumatique radial comprend en outre une armature de renforcement, constituée d'une armature de sommet, radialement intérieure à la bande de roulement, et d'une armature de carcasse, radialement intérieure à l'armature de sommet.
- [0008] L'armature de carcasse d'un pneumatique radial pour véhicule lourd de type génie civil, comprend habituellement au moins une couche de carcasse comprenant des renforts métalliques, enrobés par un matériau polymérique de type élastomère ou élastomérique, obtenu par mélangeage et appelé mélange d'enrobage. Une couche de carcasse comprend une partie principale, reliant les deux bourrelets entre eux et s'enroulant généralement, dans chaque bourrelet, de l'intérieur vers l'extérieur du pneumatique autour d'un élément de renforcement circonférentiel le plus souvent métallique appelé tringle, pour former un retournement. Les renforts métalliques d'une couche de carcasse sont sensiblement parallèles entre eux et forment, avec la direction circonférentielle, un angle compris entre 85° et 95° .
- [0009] L'armature de sommet d'un pneumatique radial pour véhicule de génie civil, comprend une superposition de couches de sommet s'étendant circonférentiellement, radialement à l'extérieur de l'armature de carcasse. Chaque couche de sommet est constituée de renforts généralement métalliques, parallèles entre eux et enrobés par un matériau polymérique de type élastomère ou mélange d'enrobage.
- [0010] Un renfort métallique est caractérisé mécaniquement par une courbe représentant la force de traction (en N), appliquée au renfort métallique, en fonction de son allongement relatif (en %), dite courbe force-allongement. De cette courbe force-allongement sont déduites des caractéristiques mécaniques en traction du renfort métallique, telles que l'allongement structural A_s (en %), l'allongement total à la rupture A_t (en %), la force à la rupture F_m (charge maximale en N) et la résistance à la rupture R_m (en MPa), ces caractéristiques étant mesurées selon la norme ASTM D 2969-04 de 2014. De la force exercée sur le renfort, l'homme de l'art saura en utilisant la section d'acier du renfort en déduire la contrainte.
- [0011] L'allongement total A_t du renfort métallique est, par définition, la somme de ses allongements structural, élastique et plastique ($A_t = A_s + A_e + A_p$) et particulièrement à la rupture où chacun des allongements est non nul. L'allongement structural A_s résulte du positionnement relatif des fils métalliques constitutifs du renfort métallique sous un faible effort de traction. L'allongement élastique A_e résulte de l'élasticité même du métal des fils métalliques, constituant le renfort métallique, pris individuellement, le

comportement du métal suivant une loi de Hooke. L'allongement plastique A_p résulte de la plasticité, c'est-à-dire de la déformation irréversible, au-delà de la limite d'élasticité, du métal de ces fils métalliques pris individuellement. Ces différents allongements ainsi que leurs significations respectives, bien connus de l'homme du métier, sont décrits, par exemple, dans les documents US5843583, WO2005/014925 et WO2007/090603.

- [0012] On définit également, en tout point de la courbe contrainte-allongement d'un renfort métallique, un module en extension, exprimé en GPa, qui représente la pente de la droite tangente à la courbe contrainte-allongement en ce point. En particulier, on appelle module élastique en extension ou module d'Young, le module tangent en extension de la partie linéaire élastique de la courbe contrainte-allongement.
- [0013] Parmi les renforts métalliques, on distingue usuellement les renforts métalliques élastiques ou extensibles, tels que ceux utilisés dans les couches de protection, et les renforts métalliques non extensibles ou inextensibles ou inélastiques.
- [0014] Un renfort métallique extensible, dans son état gommé issu du pneumatique, est caractérisé par un allongement structural A_s au moins égal à 0.3% et un allongement total à rupture A_t au moins égal à 2.5%. En outre, un renfort métallique extensible a un module élastique en extension au plus égal à 150 GPa, et compris usuellement entre 40 GPa et 130 GPa.
- [0015] Un renfort métallique inextensible dans son état gommé issu du pneumatique, est caractérisé par un allongement total A_t , sous une force de traction égale à 10% de la force à rupture F_m , au plus égal à 0.3%. Par ailleurs, un renfort métallique non extensible a un module élastique en extension compris usuellement entre 150 GPa et 200 GPa.
- [0016] Parmi les couches de sommet, on distingue usuellement les couches de protection, constitutives de l'armature de protection et radialement les plus à l'extérieur, comprenant des éléments de renforcement (ou renforts) extensibles et les couches de travail comprenant des éléments de renforcement inextensibles, constitutives de l'armature de travail et radialement comprises entre l'armature de protection et l'armature de carcasse.
- [0017] L'armature de protection, comprenant au moins une couche de protection, protège essentiellement les couches de travail des agressions mécaniques ou physico-chimiques, susceptibles de se propager à travers la bande de roulement radialement vers l'intérieur du pneumatique.
- [0018] L'armature de protection comprend pour un pneumatique de type génie civil souvent deux couches de protection, radialement superposées, formées de renforts métalliques extensibles, parallèles entre eux dans chaque couche et croisés d'une couche à la suivante, en formant, avec la direction circonférentielle, des angles au moins égaux à

18°.

[0019] L'armature de travail, comprenant au moins deux couches de travail, a pour fonction de ceinturer le pneumatique et de lui conférer de la rigidité et de la tenue de route. Elle reprend à la fois des sollicitations mécaniques de gonflage, générées par la pression de gonflage du pneumatique et transmises par l'armature de carcasse, et des sollicitations mécaniques de roulage, générées par le roulage du pneumatique sur un sol et transmises par la bande roulement. Elle doit en outre résister à l'oxydation et aux chocs et perforations, grâce à sa conception intrinsèque et à celle de l'armature de protection.

[0020] L'armature de travail comprend usuellement deux couches de travail, radialement superposées, formées de renforts métalliques non extensibles, parallèles entre eux dans chaque couche et croisés d'une couche à la suivante, en formant, avec la direction circonférentielle, des angles au plus égaux à 65°, et, de préférence, au moins égaux à 18° et au plus égaux à 45°. Pour diminuer les cisaillements des composés caoutchouteux, ou mélanges caoutchouteux, aux extrémités axiales des couches de travail, il est usuel de décaler axialement la position desdites extrémités l'une par rapport à l'autre. L'armature de sommet comporte donc usuellement une couche de travail de plus grande largeur axiale et une couche de travail de plus petite largeur axiale. Les cisaillements des composés caoutchouteux sont maximaux à l'extrémité de la couche de travail de plus petite largeur axiale. En effet ces cisaillements maximaux dus aux déplacements de l'extrémité de la couche de travail de plus petite largeur axiale se répartissent sur l'épaisseur radiale de composés caoutchouteux entre la couche de travail de plus petite largeur axiale et la couche de travail de plus grande largeur axiale. Ces cisaillements sont amplifiés par les déformations de la couche de travail de plus grande largeur axiale. En effet, étant donné l'angle des renforts métalliques croisés avec les renforts métalliques de la couche de travail de plus petite largeur, la couche de travail de plus grande largeur axiale se déforme dans une autre direction, ce qui augmente les déformations des composés caoutchouteux. Ces maxima de cisaillements sont généralement diminués en ajoutant une gomme de découplage entre l'extrémité de la couche de travail de plus petite largeur axiale et la couche de travail de plus grande largeur axiale. L'extrémité de la couche de travail de plus grande largeur axiale est également soumise à de forts cisaillements mais généralement de moindre amplitude étant donné que pour cette extrémité, l'épaisseur des composés caoutchouteux est plus importante et les déformations ne sont plus amplifiées par la présence de l'autre couche de travail.

[0021] Pour diminuer les sollicitations mécaniques de gonflage et de roulage transmises à l'armature de travail et les cisaillements du mélange caoutchouteux qui les recouvre, il est connu de disposer, radialement à l'extérieur de l'armature de carcasse, une armature de frettage. L'armature de frettage, dont la fonction est de reprendre au moins

en partie les sollicitations mécaniques de gonflage, améliore l'endurance de l'armature de sommet par une rigidification de l'armature de sommet. L'armature de frettage peut être positionnée radialement à l'intérieur de l'armature de travail, entre les deux couches de travail de l'armature de travail, ou radialement à l'extérieur de l'armature de travail. La valeur absolue de l'angle des éléments de renforcement des couches de frettages, avec la direction circonférentielle XX' , est inférieur à celle de l'angle des éléments de renforcement des couches de travail d'au moins 5° préférentiellement 10° , et la largeur axiale des couches de frettage est également inférieure à la largeur axiale des couches de travail.

- [0022] Dans les applications de type génie Civil, l'armature de frettage peut comprendre deux couches de frettage, radialement superposées, formées de renforts métalliques, parallèles entre eux dans chaque couche et croisés d'une couche à la suivante, en formant, avec la direction circonférentielle, des angles au plus égaux à 16° . Pour réaliser les couches de frettage, sur des pneumatiques de génie civil de grand diamètre, l'enroulement d'une couche d'éléments de renforcement discontinus dont les extrémités vont d'un bord axial de la couche à l'autre formant avec la direction circonférentielle un angle compris entre 7° et 16° est souvent préféré à l'enroulement d'une bande étroite de quelques éléments de renforcement continus formant avec la direction circonférentielle un angle compris entre 0° et 5° pour des raisons de productivité. Dans les deux cas, les couches de frettage sont de plus petite largeur axiale que la couche de travail de plus petite largeur axiale. En effet les sollicitations dues au roulage en extrémité des couches de travail sont très élevées en traction et compression et amènent à la rupture des renforts métalliques inextensibles disposés autour des extrémités dont les angles formés avec la direction circonférentielle sont inférieurs à 16° . Le document WO2019/202239, divulgue une architecture usuelle des pneumatiques de génie civil comprenant deux couches de frettage d'éléments de renforcement rigides, radialement intérieures à deux couches de travail d'éléments de renforcement rigides radialement intérieures à des couches de protection extensibles, les deux couches de frettage étant de largeur axiale sensiblement inférieure à la largeur axiale des couches de travail. Ce document présente une optimisation des couches de protection afin d'améliorer la résistance aux agressions sommet que subissent les pneumatiques de génie civil. En effet les pneumatiques de génie civil et particulièrement ceux utilisés en mine de surface, sont soumis à des agressions généralement au voisinage des fronts de taille où le minerai est plus saillant. Au fur et à mesure que la bande de roulement s'use, l'impact de la rigidité d'enfoncement du bloc sommet sur les coupures de la bande de roulement se fait sentir. Si l'optimisation proposée dans l'état de l'art a son intérêt, sa rigidité circonférentielle importante amenée principalement par les couches de frettage et majoritairement au centre du sommet favorise les coupures de la bande

de roulement et son usure irrégulière au centre et parfois la perforation totale du bloc sommet. Il est bien connu de l'homme du métier qu'augmenter l'angle moyen des couches de frettage au-delà de 16° permet de baisser la rigidité d'extension circonférentielle du sommet mais cela réduit d'autant l'endurance en favorisant les fissurations aux extrémités des couches de travail, mais aussi en extrémité des couches de frettage elles-mêmes.

[0023] Les inventeurs se sont donnés pour objectifs, pour un pneumatique pour véhicule lourd de génie civil, d'avoir une endurance satisfaisante notamment aux extrémités des couches de sommet, d'améliorer la résistance de l'armature de sommet aux perforations, en particulier dans la portion centrale, et d'augmenter la résistance de la bande de roulement aux arrachements faisant suite à des agressions.

[0024] Cet objectif a été atteint, selon l'invention, par un Pneumatique radial pour véhicule lourd de génie civil, destiné à être monté sur une jante nominale de rayon R exprimé en pouces, comprenant une armature de sommet, radialement intérieure à une bande de roulement et radialement extérieure à une armature de carcasse,

- l'armature de sommet comprenant, une armature de travail,
- l'armature de travail (50) comprenant au moins deux couches de travail comprenant chacune des éléments de renforcement métalliques enrobés dans un matériau élastomérique, parallèles entre eux, formant, avec la direction circonférentielle (XX'), un angle au moins égal à 18° et au plus égal à 45° , lesdits éléments de renforcement métalliques étant croisés d'une couche de travail à la suivante,
- la couche de travail de plus faible largeur axiale ayant une largeur axiale LT en mm, et des éléments de renforcement ayant une masse linéique MT en g/m, un module tangent GT en GPa à 0.5% de déformation, et étant disposés dans la couche de travail avec un pas moyen PT en mm,
- l'armature de sommet comprenant une armature de frettage comprenant au moins deux couches de frettage, chaque couche de frettage comprenant des éléments de renforcement métalliques enrobés dans un matériau élastomérique, parallèles entre eux, formant, avec la direction circonférentielle (XX'), des angles de valeurs absolues au moins égales à 5° et au plus égales à 16° ,
- chaque élément de renforcement de chacune des couches de l'armature de sommet étant caractérisé par un allongement structurel, un allongement total à la rupture et au moins un module tangent en traction, ces caractéristiques étant mesurées selon la norme ASTM D 2969-04 de 2014,
- les éléments de renforcement de chaque couche de frettage ayant une masse linéique métallique MF en g/m, un module tangent GF à 1.5% de dé-

formation, et étant disposés dans la couche de frettage avec un pas moyen PF en mm et chaque couche de frettage ayant une rigidité linéique RF tangente égale à $(GF*MF / 7.8) / PF$,

- chaque élément de renforcement métallique de chaque couche de frettage étant extensible, avec un allongement structurel AsF au plus égal à 1% et au moins égal à 0.3% et avec une rigidité linéique tangente RF à 1.5% de déformation au moins égale à 75 KN/mm et au plus égale à 160 KN/mm.
- la couche de frettage la plus radialement extérieure, ayant une largeur axiale LF, la largeur LF étant au moins égale à $LT*[R/110.25 + ((GT/GF) * (MT/MF)/(PT/PF) + AsF*80-1)/8]$.

- [0025] Contrairement à la logique pour laquelle on emploie des couches de frettage, reprendre les efforts longitudinaux, la solution consiste à utiliser pour la couche de frettage des éléments de renforcement extensible. En effet toute la difficulté pour une frette optimale est qu'elle résiste à la compression notamment pendant l'écrasement et sous effort transverse en virage notamment. Les éléments de renforcement extensibles par leur comportement en compression et leurs capacités à résister au flambement sont très intéressants et les simulations numériques effectuées montrent que contrairement à l'attendu le caractère extensible des éléments de renforcement de frettage amène un gain non négligeable à l'endurance du sommet.
- [0026] En plus de cette meilleure résistance à la compression, l'utilisation de câbles extensibles dans les couches de frettage permet d'améliorer de manière très significative et étonnante la résistance à la fissuration des mélanges caoutchouteux aux extrémités axiales des couches de frettage, amenant ainsi un gain en endurance significatif.
- [0027] Cette solution est d'autant plus efficace si contrairement à nombre d'éléments de renforcement extensibles notamment ceux habituellement utilisés pour les couches de protection, les couches de frettage ont des rigidités linéiques tangentes au moins égales à 75 KN/mm et au plus égales à 160 KN/mm à 1.5% de déformation. Raisonner uniquement sur la rigidité de l'éléments de renforcement n'est pas suffisant, certains éléments de renforcement notamment de petits diamètres pouvant satisfaire à une condition de rigidité élémentaire, mais se révéler incompatible une fois mis en couche avec l'usage du génie civil. Si la condition de la rigidité donnée dans l'invention est remplie, la reprise des efforts en phase de traction est largement plus efficace qu'avec les éléments de renforcement plus extensibles et améliore l'endurance. De plus le caractère extensible des éléments de renforcement améliore l'endurance comparativement à la solution existante sur le marché où les éléments de renforcement seraient inextensibles.
- [0028] Un des intérêts dans l'utilisation d'éléments de renforcement extensibles pour les couches de frettage, vu leur plus grande résistance à la compression et leur moindre

rigidité d'extension est qu'il est possible tout en conservant une endurance adéquate, d'augmenter leur largeur comparativement à la largeur des couches de travail. Cette augmentation de la largeur diminue le niveau des cisaillements dans les compositions de caoutchouc au niveau des extrémités des couches de travail. Ainsi l'invention implique que la couche de frettage la plus radialement extérieure, ayant une largeur axiale LF, les éléments de renforcement de la couche de frettage la plus radialement extérieure ayant un allongement structurel AsF, la largeur LF soit au moins égale à $LT*[R/110.25 + ((GT/GF) * (MT/MF)/(PT/PF) + AsF*80-1)/8]$. Cette largeur permet d'exercer une influence plus conséquente des couches de frettage extensibles tout en limitant la largeur des couches de frettage et donc la consommation de métal.

- [0029] Le caractère extensible des couches de frettage n'est pas incompatible avec l'utilisation de couches de travail extensibles. Il convient dès lors de régler les paramètres de conception afin de concevoir une armature de sommet performante et notamment les élasticités relatives des différentes couches de sommet par le type d'éléments de renforcement, leurs élasticités et leur évolution en déformation, leurs résistances à la fatigue et à la rupture, leurs pas, leurs angles. Ainsi une solution intéressante peut être que chaque élément de renforcement métallique de chaque couche de travail soit extensible et ait un allongement structurel AsT au moins égal à 0.3%, un module tangent à 1.5% de déformation au plus égal à 130 GPa et un allongement total à rupture au moins égal à 2%.
- [0030] De même une solution peut être trouvée avec des couches de travail dont les éléments de renforcement sont inextensibles ainsi une des solutions préférées est que chaque élément de renforcement métallique de chaque couche de travail est inextensible et a un allongement structurel AsT au plus égal à 0.2% et un module tangent à 0.5% de déformation au moins égal à 150 GPa.
- [0031] Néanmoins la largeur axiale optimale LF des couches de frettage peut être évaluée comme étant $LT*[R/110.25 + ((GT/GF) * (MT/MF)/(PT/PF) + AsF*100-1)/7]$ et donc une des solutions avantageuses est que la couche de frettage de plus petite largeur axiale ait une largeur axiale LF égale à cette largeur optimale à plus ou moins 10%. Ainsi il est avantageux que la couche de frettage de plus petite largeur axiale ait une largeur axiale au moins égale à $0.9 * LT*[R/110.25 + ((GT/GF) * (MT/MF)/(PT/PF) + AsF*100-1)/7]$ et au plus égale à $1.1 * LT*[R/110.25 + ((GT/GF) * (MT/MF)/(PT/PF) + AsF*100-1)/7]$.
- [0032] En revanche, pour éviter des ruptures en compression des couches de frettage, il est préféré que chaque couche de frettage ait une largeur axiale au plus égale à la largeur axiale LT de la couche de travail de plus faible largeur axiale.
- [0033] Il est avantageux que l'armature de sommet comporte deux couches de frettage pour des raisons de temps de cycles de fabrication et d'équilibre de l'architecture sommet,

les angles formés par les éléments de renforcement des deux couches de frettage étant de signes opposés. De telles architectures sont ainsi plutôt dédiées à des pneumatiques pour des engins de génie civil et plus encore pour des pneumatiques de génie civil dans lequel le rayon R de la jante nominale du pneumatique est au moins égal à 57 pouces.

[0034] Les caractéristiques de l'invention sont illustrées par la [Fig.1] schématique et non représentée à l'échelle, en référence à un pneumatique de dimension 59/80 R63.

[0035] La [Fig.1] présente une vue écorchée en perspective du sommet d'un pneumatique présentant :

- des flancs 20,
- une armature de carcasse 30, comprenant une couche de carcasse dont les renforts forment un angle proche de 90° avec la direction circonférentielle XX',
- une armature de frettage 40, comprenant deux couches de frettage 41 et 42,
- une armature de travail 50, comprenant deux couches de travail 51 et 52, et radialement extérieure à l'armature de frettage 40,
- une armature de protection 60, comprenant deux couches de protection 61 et 62.

[0036] Dans l'état de l'art, les couches de travail et les couches de frettage sont constituées d'éléments de renforcement inextensibles. Dans les pneumatiques selon l'invention les couches de travail sont constituées d'éléments de renforcement inextensibles et les couches de frettage sont constituées d'éléments de renforcement extensibles dont l'allongement allongement total At à la rupture au moins égal à 2% et les modules tangents des éléments de renforcement de chaque couche de frettage à 1.5% de déformation, étant au moins égal 70 GPa et au plus égal à 130 GPa .

[0037] L'invention est comparée à un pneumatique témoin du marché (« Michelin 59/80R63 XDR3 ») de même dimension, dont le sommet est composé de deux couches de frettage, de largeurs axiales 520 mm et 580 mm, radialement intérieures à deux couches de travail de largeurs axiales 1006 mm et 926 mm, radialement intérieures à deux couches de protection. Les éléments de renforcement des couches de frettage forment des angles de 8 et -8° . Ils sont inextensibles en 77.35, soit 77 fils d'acier de 35 centièmes de millimètres de diamètre, pour un module d'extension, mesuré sur un câble prélevé du pneumatique, égal à 178 GPa à 0.5% de déformation , disposés selon un pas de 5.5 mm, une masse linéique de 60.1 g/m soit une rigidité linéique tangente de 240 KN/mm. Les éléments de renforcement des couches de travail forment des angles de -33 et 19° . Ils sont inextensibles en 77.35, soit 77 fils d'acier de 35 centièmes de millimètres de diamètre, pour un module d'extension, mesuré sur un câble prélevé du pneumatique, égal à 178 GPa à 0.5% de déformation, disposés selon un pas de 6.4 mm avec une masse linéique de 60.1 g/m. Ils sont inextensibles. Les éléments de ren-

forcement des couches de protection sont extensibles et forment des angles de -24° et 24° .

- [0038] Les pas moyens sont mesurés sur des coupes de pneumatique. C'est une mesure usuelle de l'homme de l'art pour des couches de sommet. La masse linéique est mesurée sur un élément dont la gomme est enlevée chimiquement de l'éléments de renforcement extrait du pneumatique soit par mesure de la section de métal par analyse d'image et reconstitution par calcul.
- [0039] Les inventeurs ont tout d'abord essayé d'utiliser pour des pneumatiques dits Test1 pour les deux couches de fretage du pneumatique des éléments de renforcement extensibles de 44 fils d'acier de 35 centièmes de millimètres de diamètre, pour un module d'extension, mesuré sur un câble prélevé du pneumatique, égal à 1.5% de déformation à 50 GPa. Ces éléments de renforcement ont un diamètre de 3.9 mm, une masse linéique de 36.7 g/m, un allongement structurel AsF de 1.1% et sont disposés selon un pas de 4.4 mm soit une rigidité linéique tangente 54 KN/mm à 1.5% de déformation. Diminuer le pas pour augmenter la rigidité linéique tangente, impliquerait des augmentations des cisaillements entre les éléments de renforcement et une fissuration rapide du sommet. Ils ont ensuite réalisé un pneumatique selon l'invention, Test2 où les éléments de renforcement des couches de fretage sont extensibles et composés de 7 torons comprenant 21 fils d'acier de 23 centièmes de millimètres de diamètre ayant des modules tangents à 1.5% de déformation, étant égal à 95 GPa. Ces éléments de renforcement ont un diamètre de 4.8 mm, une masse linéique de 53 g/m, un allongement structurel AsF de 0.5% et sont disposés selon un pas de 5.6 mm, soit une rigidité linéique tangente de 118 KN/mm.
- [0040] Les pneumatiques témoin et selon Test1 ou Test2 sont identiques excepté les couches de fretage. Ils ont la même sculpture et les mêmes renforts pour la couche de carcasse, les couches de protection et les couches de travail et les mêmes composés caoutchouteux pour les différentes parties des pneumatiques.
- [0041] Les pneumatiques ont été simulés sur des outils de calcul. Les simulations permettent d'évaluer les sollicitations mécaniques et thermiques sur des pneumatiques par la technique des éléments finis en grand déplacement et grande déformation en tenant compte des caractéristiques mécaniques et hystérétiques des matériaux.
- [0042] L'objectif de l'invention est de diminuer la rigidité circonférentielle au centre afin d'améliorer l'usure et la résistance aux agressions et aux perforations. La baisse de la rigidité est estimée à partir de la déformation du bloc sommet sous l'effet d'une augmentation de pression.
- [0043] Pour les versions Test1 et Test2, la rigidité au centre du sommet est divisée respectivement par un facteur 3.4 et divisée par 2.7 pour la version selon l'invention. La rigidité moyenne de l'armature de sommet est suffisante pour la reprise des efforts de

roulage. Cette baisse de rigidité au centre doit permettre un gain en perforation d'entre 20% et 40% suivant la résistance à la rupture des couches de sommet et doit aider à résoudre les problèmes d'usure irrégulière due à la trop grande rigidité du centre du pneumatique témoin de génie civil.

[0044] Concernant l'endurance du sommet, les coefficients de sécurité (Résistance à la rupture du câble sur sollicitations maximales) des éléments de renforcement de l'ensemble des couches de sommet sont au moins égaux au coefficient de sécurité minimal du pneumatique témoin.

[0045] Concernant l'endurance des compositions de caoutchouc aux extrémités de la couche de travail la plus radialement extérieure, l'utilisation de câbles extensibles amène une dégradation de la sollicitation maximale. Si nous considérons la densité d'énergie maximale, celle-ci est doublée pour le pneumatique selon la version Test1 et augmente de 50% pour le pneumatique selon la version Test2. Le pneumatique selon Test1 n'est pas compatible avec les exigences d'endurance des usages de génie civil. En revanche, selon l'usage des pneumatiques, l'invention Test2 est possiblement intéressante. En effet si les ruptures par chocs sommet sont importants et beaucoup plus probables que les déchéances des sommets par fissuration des compositions de caoutchouc du sommet, alors le pneumatique selon Test2 pourrait être pertinent.

[0046] Pour éviter une dégradation de l'endurance sommet pour les versions des pneumatiques Test1 et Test2, les inventeurs ont augmenté la largeur axiale des couches de frettage créant ainsi respectivement deux nouvelles versions de pneumatiques Test3 et Inv1, Test3 étant identique à Test1 excepté pour la largeur axiale des couches de frettage et de même Inv1 étant identique à Test2 excepté pour la largeur axiale des couches de frettage. L'augmentation de largeur axiale optimale des couches de frettage pour Test3 et Inv1 est de 100 mm, respectivement par rapport à Test1 et Test2 de part et d'autre du plan équatorial du pneumatique, soit une augmentation de la largeur axiale des couches de frettage de près de 30%. Cette augmentation reste acceptable concernant l'endurance à la fatigue concernant les éléments de renforcement des couches de frettage. La densité d'énergie maximale est équivalente au témoin pour le pneumatique selon la version l'invention Inv1 mais reste supérieure à 70% vis-à-vis du témoin pour le pneumatique selon le Test3 avec la couche de frettage élargie, ce qui n'est toujours pas suffisant en endurance. Les éléments de renforcement inextensibles du pneumatique témoin ne permettent pas une augmentation de largeur axiale des couches de frettage sans une dégradation majeure de l'endurance.

[0047] De ce point de vue, les inventeurs s'attendent à une performance en endurance au moins égale à celle du témoin pour la meilleure version de l'invention, à savoir la version Inv1 avec des couches de frettage élargies de 100 mm de part et d'autre du plan équatorial.

[0048] L'invention permet donc d'améliorer la résistance au choc des sommets des pneumatiques de génie civil comprenant des couches de frettage ayant des éléments de renforcement extensibles, et certaines formes d'usure irrégulière. La version la plus aboutie de l'invention avec des couches de frettage élargies permet en outre de conserver une endurance des compositions de caoutchouc aux extrémités des couches de travail. L'ensemble de ces performances démontre l'intérêt de l'invention.

Revendications

[Revendication 1]

Pneumatique radial pour véhicule lourd de génie civil, destiné à être monté sur une jante nominale de rayon R exprimé en pouces, comprenant une armature de sommet, radialement intérieure à une bande de roulement (10) et radialement extérieure à une armature de carcasse (30),

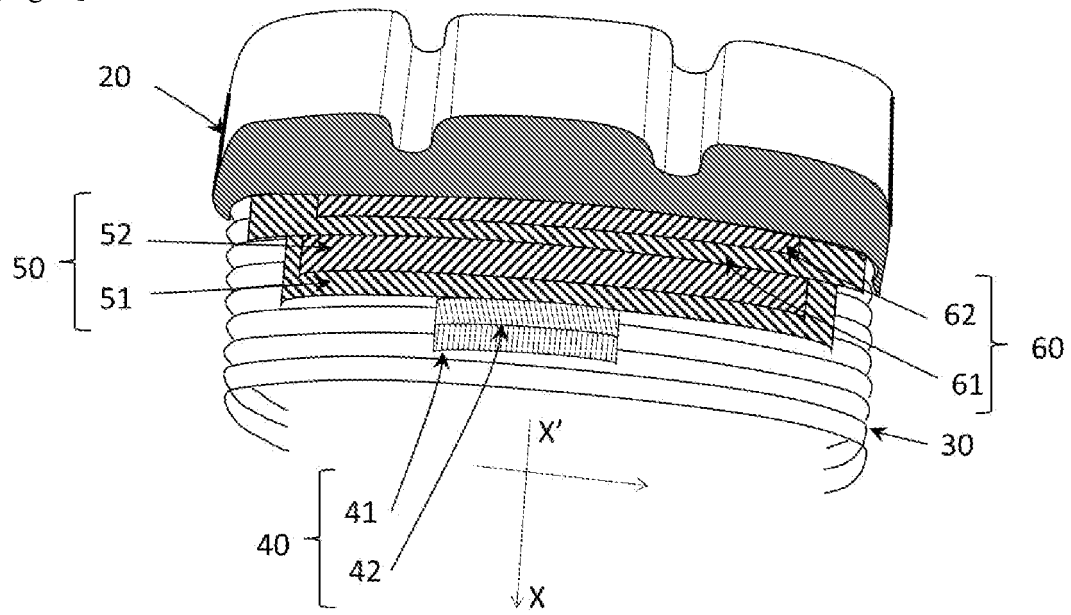
- l'armature de sommet comprenant, une armature de travail (50),
- l'armature de travail (50) comprenant au moins deux couches de travail (51, 52) comprenant chacune des éléments de renforcement métalliques enrobés dans un matériau élastomérique, parallèles entre eux, formant, avec la direction circonférentielle (XX'), un angle au moins égal à 18° et au plus égal à 45°, lesdits éléments de renforcement métalliques étant croisés d'une couche de travail à la suivante,
- la couche de travail de plus faible largeur axiale ayant une largeur axiale LT en mm, et des éléments de renforcement ayant une masse linéique MT en g/m et étant disposés dans la couche de travail avec un pas moyen PT en mm,
- l'armature de sommet comprenant une armature de freinage (40) comprenant au moins deux couches de freinage (41, 42), chaque couche de freinage (41,42) comprenant des éléments de renforcement métalliques enrobés dans un matériau élastomérique, parallèles entre eux, formant, avec la direction circonférentielle (XX'), des angles de valeurs absolues au moins égales à 5° et au plus égales à 16°,
- chaque élément de renforcement de chacune des couches de l'armature de sommet étant caractérisé par un allongement structurel (AsT, AsF), un allongement total à la rupture (AtT, AtF) et au moins un module tangent (GT, GF) en traction, ces caractéristiques étant mesurées selon la norme ASTM D 2969-04 de 2014 (ASTM, « American Society for Testing and Materials »),
- les éléments de renforcement de chaque couche de freinage ayant une masse linéique métallique MF en g/m, un module tangent GF à 1.5% de déformation, et étant disposés dans la couche de freinage avec un pas moyen PF en mm et chaque

couche de frettage ayant une rigidité linéique RF tangente égale à $(GF \cdot MF / 7.8) / PF$

- caractérisé en ce que chaque élément de renforcement métallique de chaque couche de frettage (41, 42) est extensible, avec un allongement structurel AsF au plus égal à 1% et au moins égal à 0.3% et avec une rigidité linéique tangente RF à 1.5% de déformation au moins égale à 75 KN/mm et au plus égale à 160 KN/mm et en ce que la couche de frettage la plus radialement extérieure, ayant une largeur axiale LF, les éléments de renforcement de la couche de frettage la plus radialement extérieure ayant un allongement structurel AsF, la largeur LF est au moins égale à $LT \cdot [R/110.25 + ((GT/GF) \cdot (MT/MF)/(PT/PF) + AsF \cdot 80 - 1)/8]$.

- [Revendication 2] Pneumatique selon la revendication 1 dans lequel chaque élément de renforcement métallique de chaque couche de travail (51, 52) est inextensible et a un allongement structurel AsT au plus égal à 0.2% et un module tangent GT à 0.5% de déformation au moins égal à 150 GPa.
- [Revendication 3] Pneumatique selon la revendication 1 dans lequel chaque élément de renforcement métallique de chaque couche de travail (51, 52) est extensible et a un allongement structurel AsT au moins égal à 0.3% et un module tangent GT à 1.5% de déformation au plus égal à 130 GPa et un allongement total à rupture au moins égal à 2%.
- [Revendication 4] Pneumatique selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel la couche de frettage de plus petite largeur axiale a une largeur axiale LF au moins égale à $0.9 \cdot LT \cdot [R/110.25 + ((GT/GF) \cdot (MT/MF)/(PT/PF) + AsF \cdot 100 - 1)/7]$ et au plus égale à $1.1 \cdot LT \cdot [R/110.25 + ((GT/GF) \cdot (MT/MF)/(PT/PF) + AsF \cdot 100 - 1)/7]$.
- [Revendication 5] Pneumatique selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel chaque couche de frettage a une largeur axiale au plus égale à la largeur axiale LT de la couche de travail de plus faible largeur axiale.
- [Revendication 6] Pneumatique selon l'une quelconque des revendications précédentes, le pneumatique étant destiné à être monté sur une jante nominale de rayon R exprimé en pouces, dans lequel le rayon R de la jante nominale du pneumatique est au moins égal à 57 pouces.

[Fig. 1]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☐ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☒ Le demandeur a maintenu les revendications.

☐ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

NEANT

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

WO 2019/202239 A1 (MICHELIN & CIE [FR])
24 octobre 2019 (2019-10-24)

FR 3 020 017 A1 (MICHELIN & CIE [FR];
MICHELIN RECH TECH [CH])
23 octobre 2015 (2015-10-23)

WO 2020/053070 A1 (MICHELIN & CIE [FR])
19 mars 2020 (2020-03-19)

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT