(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** **3 136 401**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **22 05552**

(51) Int Cl[8] : ***B 60 C 9/18*** *(2022.01), B 60 C 9/20, B 60 C 9/28*

(12) **BREVET D'INVENTION** **B1**

(54) PNEUMATIQUE COMPRENANT UNE ARMATURE DE SOMMET A RENFORTS METALLIQUES TRANCANNEE.

(22) **Date de dépôt :** 09.06.22.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 15.12.23 Bulletin 23/50.

(45) **Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention :** 28.06.24 Bulletin 24/26.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche :**

Se reporter à la fin du présent fascicule

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

◯ **Demande(s) d'extension :**

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

(72) **Inventeur(s) :** HEBERT Stéphane, BARBARIN François et MANSUY Philippe.

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

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

FR 3 136 401 - B1

Description

Titre de l'invention : PNEUMATIQUE COMPRENANT UNE ARMATURE DE SOMMET A RENFORTS METALLIQUES TRANCANNEE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

[0012] Certains pneumatiques actuels, dits "routiers", sont destinés à rouler à grande vitesse et sur des trajets de plus en plus longs, du fait de l'amélioration du réseau routier et de la croissance du réseau autoroutier dans le monde. L'ensemble des conditions, sous lesquelles un tel pneumatique est appelé à rouler, permet sans aucun doute un accroissement du nombre de kilomètres parcourus, l'usure du pneumatique étant moindre ; par contre l'endurance de ce dernier et en particulier de l'armature de sommet est pénalisée.

[0013] Il existe en effet des contraintes au niveau de l'armature de sommet et plus particulièrement des contraintes de cisaillement entre les couches de sommet de travail, alliées à une élévation non négligeable de la température de fonctionnement au niveau des extrémités de la couche de sommet de travail axialement la plus courte, qui ont pour conséquence l'apparition et la propagation de fissures de la gomme au niveau desdites extrémités.

[0014] Afin d'améliorer l'endurance de l'armature de sommet du type de pneumatique étudié, des solutions relatives à la structure et qualité des couches et/ou profilés de mélanges caoutchouteux qui sont disposés entre et/ou autour des extrémités de nappes et plus particulièrement des extrémités de la nappe de travail axialement la plus courte ont déjà été apportées.

[0015] Il est notamment connu d'introduire une couche de mélange caoutchouteux entre les extrémités des couches de travail pour créer un découplage entre lesdites extrémités pour limiter les contraintes de cisaillement. De telles couches de découplage doivent toutefois présenter une très bonne cohésion. De telles couches de mélanges caoutchouteux sont par exemple décrites dans la demande de brevet WO 2004/076204.

[0016] Le brevet FR 1 389 428, pour améliorer la résistance à la dégradation des mélanges de caoutchouc situés au voisinage des bords d'armature de sommet, préconise l'utilisation, en combinaison avec une bande de roulement de faible hystérèse, d'un profilé de caoutchouc couvrant au moins les côtés et les bords marginaux de l'armature de sommet et constitué d'un mélange caoutchouteux à faible hystérèse.

[0017] Le brevet FR 2 222 232, pour éviter les séparations entre nappes d'armature de

sommet, enseigne d'enrober les extrémités de l'armature dans un matelas de caoutchouc, dont la dureté Shore A est différente de celle de la bande de roulement surmontant ladite armature, et plus grande que la dureté Shore A du profilé de mélange caoutchouteux disposé entre les bords de nappes d'armature de sommet et armature de carcasse.

[0018] Par ailleurs, il est connu pour réaliser des pneumatiques à bande de roulement très large ou bien pour conférer à des pneumatiques d'une dimension donnée des capacités de charges plus importantes d'introduire une couche d'éléments de renforcement circonférentiels. La demande de brevet WO 99/24269 décrit par exemple la présence d'une telle couche d'éléments de renforcement circonférentiels.

[0019] La couche d'éléments de renforcement circonférentiels est usuellement constituée par au moins un câble métallique enroulé pour former une spire dont l'angle de pose par rapport à la direction circonférentielle est inférieur à 2.5°.

[0020] Le document WO 05/113258 propose encore une couche de sommet de travail radialement la plus proche de l'armature de carcasse dont les extrémités sont repliées pour venir couvrir les bords d'une autre couche de l'armature de sommet. Une telle réalisation permet encore d'éliminer au moins une partie des extrémités des couches qui peuvent être à l'origine des amorces de fissurations précédemment décrites.

[0021] Il est connu, dans un autre domaine du pneumatique, celui des pneumatiques pour avion, également destinés à porter de lourdes charges, mais pour des roulages à forte pression et à vitesse beaucoup plus élevée, sur des sols non agressifs, d'utiliser une armature de sommet dite trancannée, et plus précisément une armature de travail trancannée. Les documents WO 2015059172, WO 2015063131, WO 2015071152, WO 2015124758 et WO2015150133 décrivent ainsi une armature de sommet, comprenant au moins un bicouche de sommet constitué par un enroulement circonférentiel en zigzag d'une bandelette, selon une direction circonférentielle du pneumatique. Une telle armature de sommet a l'avantage de limiter le nombre de couches de sommet individuelles et de supprimer les extrémités libres de ces couches.

[0022] Toutefois, cette armature de sommet trancannée, pour un pneumatique d'avion, est constituée par des couches de sommet comprenant des renforts textiles. Dans le domaine des pneumatiques de type poids-lourds, compte tenu des conditions d'utilisation particulièrement sévères, l'utilisation de renforts textiles est difficilement envisageable et celle de renforts métalliques est communément admise comme une solution préférable.

[0023] Par ailleurs, l'usage de pneumatiques sur des véhicules pour poids-lourds peut conduire les pneumatiques à subir des chocs lors de roulages sur des sols caillouteux. Ces chocs sont bien entendu néfastes quant aux performances en termes d'endurance.

[0024] Il est encore connu de l'homme du métier d'augmenter le nombre de nappes

constituant l'armature de sommet pour améliorer l'endurance du pneumatique à l'égard de tels chocs.

[0025] De telles solutions conduisent à une masse plus importante du pneumatique et à des coûts de fabrication des pneumatiques plus importants.

[0026] Les inventeurs se sont ainsi donnés pour mission de fournir des pneumatiques pour véhicules "Poids-Lourds", dont les performances d'endurance notamment au regard des contraintes générées en extrémités de nappes sont améliorées tout en conservant des performances d'endurance au regard des chocs subis sur la bande de roulement quelles que soient les conditions de roulage.

[0027] Ce but est atteint selon l'invention par un pneumatique comprenant une armature de carcasse radiale, ledit pneumatique comprenant une armature de sommet, comprenant au moins un premier bicouche de sommet constitué par un enroulement circonférentiel en zigzag d'au moins une bandelette d'au moins un élément de renforcement métallique noyé dans un mélange élastomérique, l'armature de sommet étant coiffée radialement d'une bande de roulement, ladite bande de roulement étant réunie à deux bourrelets par l'intermédiaire de deux flancs, dans lequel:

- ladite au moins une bandelette présente une largeur l_b,
- la trajectoire de l'enroulement circonférentiel en zigzag est une courbe périodique, dont l'origine est fixée dans le plan équatorial, ayant une période T et une amplitude l_S,
- ladite courbe périodique formant, avec la direction circonférentielle, un angle α mesuré au niveau des points de la courbe positionnés dans le plan équatorial supérieur à 15°,
- ladite courbe périodique s'étendant sur un nombre N de périodes T réparties sur un nombre P de tours de pneumatique,
- la densité moyenne apparente d'éléments de renforcement métalliques de ladite au moins une bandelette dans le plan équatorial est supérieure à 0.6,
- le nombre d'éléments de renforcement métalliques de ladite au moins une bandelette radialement superposés est inférieur ou égal à 5,
- le rayon de courbure minimum R_{min} des éléments de renforcement métalliques satisfait la relation ¼ * R²/ls < R_{min} < 3/2*R²/ls, avec

R : le rayon de courbure dans le plan équatorial de la surface de pose de la bandelette, mesuré sur une coupe méridienne du pneu,

- l'amplitude l_S de ladite courbe périodique varie dans une plage comprise entre 70 % et 100 % de la valeur maximum de l'amplitude l_{Smax},et
- l'amplitude l_Sd'au moins une période T est inférieure à 95 % de l'amplitude l_{Smax}.

[0028] De préférence selon l'invention, lorsque la bandelette est constituée d'au moins deux éléments de renforcement, lesdits au moins deux éléments de renforcement sont disposés parallèlement et avantageusement insérés entre deux couches de calandrage

de mélange élastomérique.

[0029] Au sens de l'invention, lorsque qu'une bandelette est constituée d'au moins deux éléments de renforcement, lesdits éléments de renforcement sont séparés l'un de l'autre selon un pas mesuré selon la direction normale à la direction moyenne principale des éléments de renforcement au niveau du plan équatorial.

[0030] Au sens de l'invention, dans le cas d'une bandelette constituée d'un seul élément de renforcement, la largeur l_b de ladite bandelette est le diamètre circonscrit dudit élément de renforcement.

[0031] Au sens de l'invention, dans le cas d'une bandelette constituée d'au moins deux éléments de renforcement, la largeur l_b de ladite bandelette est la distance mesurée au niveau du plan équatorial, selon la direction normale à la direction moyenne principale des éléments de renforcement, entre les points les plus extérieurs des deux éléments de renforcement les plus extérieurs de la bandelette. Les points les plus extérieurs et les éléments de renforcement les plus extérieurs sont ceux les plus éloignés du centre de la bandelette selon la direction normale à la direction moyenne principale des éléments de renforcement.

[0032] Au sens de l'invention, l'amplitude l_S de ladite courbe périodique est la distance axiale mesurée entre deux points d'un élément de renforcement axialement les plus extérieurs sur une même période. Lesdits deux points d'un élément de renforcement axialement les plus extérieurs sur une même période correspondent aux deux points pour lesquels le rayon de courbure de l'élément de renforcement est le plus petit. L'amplitude l_S la plus grande de la courbe périodique selon l'invention correspond à la largeur axiale des couches de travail formée par la bandelette.

[0033] Au sens de l'invention, la densité moyenne apparente d'éléments de renforcement métalliques de ladite au moins une bandelette dans le plan équatorial est donnée par le rapport de la longueur de métal dans le plan équatorial, mesurée selon la direction circonférentielle sur un tour de roue, sur la circonférence dans le plan équatorial correspondant à $2\pi R$.

[0034] Ces différentes mesures sont effectuées sur un pneumatique décortiqué, c'est-à-dire dont la bande de roulement a été au moins partiellement retirée pour laisser apparaitre ladite au moins une bandelette.

[0035] Au sens de l'invention, le nombre d'éléments de renforcement métalliques de ladite au moins une bandelette radialement superposés est déterminé sur une coupe méridienne du pneumatique. On détermine par observation la valeur maximale d'éléments de renforcement métalliques radialement superposés sur quatre coupes méridiennes réalisées tous les 90° sur le tour de roue du pneumatique. Chacune des coupes présente une longueur de 5 centimètres selon la direction circonférentielle et l'observation est réalisée sur chacune des faces de chaque coupe.

[0036] Les résultats obtenus avec des pneumatiques conformes à l'invention ont effectivement mis en évidence que les performances en termes d'endurance peuvent être améliorées. Ces résultats confirment notamment que l'absence d'extrémités libres des couches de travail améliore les performances en termes d'endurance lors des roulages des pneumatiques quelles que soient les conditions de roulage.

[0037] Le bicouche de sommet, constitué par un enroulement circonférentiel en zigzag d'au moins une bandelette d'éléments de renforcement métalliques insérés entre deux couches de calandrage de mélange élastomérique, constituant au moins pour partie l'armature de sommet du pneumatique se substitue aux usuelles couches de travail de pneumatiques plus usuelles telles que décrites précédemment.

[0038] La réalisation de ces couches par dépose d'une bandelette en zigzag permet effectivement d'éliminer les extrémités libres du fait du retournement de la bandelette au niveau de ce qui forme le bord de l'armature de sommet.

[0039] Ce bicouche formant au moins une partie de l'armature de sommet a ainsi la particularité d'être obtenu par le trancannage d'une bandelette comprenant des renforts métalliques, alors que le procédé de trancannage est habituellement utilisé pour des renforts textiles, beaucoup plus simples à trancanner du fait de leur plus grande déformabilité.

[0040] Les inventeurs ont par ailleurs mis en évidence que la combinaison d'une densité moyenne apparente d'éléments de renforcement métalliques de ladite au moins une bandelette dans le plan équatorial supérieure à 0.6, d'un nombre d'éléments de renforcement métalliques radialement superposés inférieur ou égal à 5, d'un rayon de courbure minimum des éléments de renforcement métalliques satisfaisant la relation ¼ * $R^2/ls < R_{min} < 3/2*R^2/ls$, d'une amplitude l_S de ladite courbe périodique variant dans une plage comprise entre 70 % et 100 % de la valeur maximum de l'amplitude l_S, l'amplitude l_Sd'au moins une période T étant inférieure à 95 % de l'amplitude l_{Smax}, permet de ne pas perturber de manière inacceptable les autres performances du pneumatique et notamment les performances en termes d'endurance en lien avec l'utilisation d'une bandelette constituée d'éléments de renforcement métalliques posée en zigzag.

[0041] En effet, la densité moyenne apparente d'éléments de renforcement métalliques de ladite au moins une bandelette dans le plan équatorial va traduire pour une densité d'éléments de renforcement dans la bandelette et la largeur de la bandelette fixées, un taux de recouvrement τ dans le plan équatorial lors de la fabrication du pneumatique sur une surface de pose de rayon R, dans le plan équatorial, sur laquelle est enroulée la bandelette en zigzag.

[0042] Le taux de recouvrement τ peut s'énoncer selon l'expression suivante : $N*(l_b/\sin\alpha)/2\pi R$. L'expression $N*(l_b/\sin\alpha)$ représente la longueur circonférentielle développée par

la bandelette, où l_b /sinα est la largeur de la bandelette projetée sur la direction circonférentielle, N étant le nombre de périodes T formant le bicouche. Une densité moyenne apparente d'éléments de renforcement métalliques de ladite au moins une bandelette dans le plan équatorial supérieure à 0.6 sera obtenue pour une valeur du taux de recouvrement τ telle que à $0.6<\tau<1$. Cette plage de recouvrement traduit le fait que la longueur circonférentielle développée d'une couche de sommet est inférieure ou égale à la circonférence $2\pi R$ de la surface de pose de rayon R, dans le plan équatorial, c'est-à-dire que la juxtaposition de portions de bandelette n'est pas réalisée, sauf pour $\tau = 1$. La plage choisie qui est en relation directe avec la densité moyenne apparente d'éléments de renforcement métalliques de ladite au moins une bandelette dans le plan équatorial traduit la quasi-absence de trou entre les portions de bandelette adjacentes.

[0043] Les inventeurs ont su mettre en évidence que cette valeur de densité moyenne apparente d'éléments de renforcement métalliques de ladite au moins une bandelette dans le plan équatorial contribue à obtenir des performances d'endurance notamment relatives à des chocs subis au niveau de la bande de roulement tout à fait satisfaisantes. Les inventeurs pensent interpréter ces résultats par un recouvrement satisfaisant comme le font deux couches d'éléments de renforcement croisés d'une couche à l'autre dans des conceptions plus usuelles de pneumatiques.

[0044] Pour obtenir ces valeurs de taux de recouvrement τ lors de la fabrication du pneumatique, les inventeurs ont su traduire la relation précédente de la façon suivante pour utiliser les paramètres de fabrication :

$$\tau = \frac{N\, lb}{2\pi R}\sqrt{1+\left(\frac{2R}{l_s}\frac{P}{N}\right)^2} \quad ;$$

[0045] l'angle α étant défini selon les paramètres de fabrication de la façon suivante :

$$\alpha = \mathrm{atan}\left(\frac{l_s}{2R}\frac{N}{P}\right) \quad ;$$

[0046] atan signifiant : arctangente.

[0047] Les inventeurs ont encore mis en évidence que le nombre d'éléments de renforcement métalliques de ladite au moins une bandelette radialement superposés inférieur ou égal à 5 contribue notamment à d'obtenir des performances en termes d'endurance satisfaisantes notamment du point de vue de la thermique au niveau de l'armature de sommet. Les inventeurs ont en effet encore su mettre en évidence que la pose en zigzag d'une bandelette conduit à des superpositions d'épaisseur de bandelettes, celles-ci étant les plus nombreuses au niveau des extrémités axiales de l'armature de sommet, c'est-à-dire dans les zones de retournement de la bandelette. Un nombre trop important de superpositions conduit à des épaisseurs locales qui génèrent des élévations de température qui impactent les performances d'endurance.

L'association d'un rayon de courbure minimum des éléments de renforcement métalliques satisfaisant la relation ¼ * R²/ls < R_{min} < 3/2*R²/ls, et d'une amplitude l_S de ladite courbe périodique variant dans une plage comprise entre 70 % et 100 % de la valeur maximum de l'amplitude l_{Smax}, l'amplitude l_Sd'au moins une période T étant inférieure à 95 % de l'amplitude l_{Smax}, permet de diminuer le nombre de recouvrement de passages de la bandelette dans la zone axialement la plus extérieure. En contrepartie, la conception selon l'invention, en comparaison d'une conception non retenue avec une amplitude constante, conduit à des zones axialement les plus extérieures de largeurs axiales plus importantes comportant des chevauchements radiaux de passages de la bandelette proche de la valeur maximale de chevauchements définie. Ce constat ne conduit de manière surprenante à aucun effet négatif sur le fonctionnement attendu du pneumatique.

[0048] Pour obtenir ce rayon de courbure minimum des éléments de renforcement métalliques R_{min}, les inventeurs le définissent à partir des caractéristiques de fabrication selon la relation suivante :

$$R_{min} = \frac{2R^2}{l_s}\left(\frac{P}{N}\right)^2 .$$

[0049] Concernant la variation de l'amplitude l_S de la période T, les inventeurs proposent lors de la simulation de la fabrication du pneumatique d'initier la fabrication avec une amplitude maximum l_{Smax} correspondant à la largeur d'armature de sommet souhaitée. Cette largeur d'armature de sommet souhaitée est définie par le concepteur du pneumatique selon les règles usuelles pour obtenir le fonctionnement souhaité du pneumatique notamment en termes de rigidité de dérive. Les périodes T sont enroulées sur la surface de pose de rayon R dans le plan équatorial tant que le nombre d'éléments de renforcement métalliques de ladite au moins une bandelette radialement superposés demeure inférieur ou égal à 5. Dès que cette valeur est dépassée, l'amplitude $l_S$est diminuée.

[0050] Les inventeurs proposent par exemple que dès lors que la simulation d'un enroulement en zigzag conduit à une superposition radiale d'un nombre d'éléments de renforcement métalliques supérieur ou égal à 6, il est décidé de renoncer à la dernière période T et de modifier celle-ci en diminuant l'amplitude l_S. Si la nouvelle simulation de pose de cette période T modifiée permet de satisfaire la condition d'une superposition radiale d'un nombre d'éléments de renforcement métalliques inférieur ou égal à 5, la période T suivante est à nouveau simulée avec une amplitude maximum l_{Smax}. Dans le cas contraire, si la nouvelle simulation de pose de cette période T modifiée ne permet pas de satisfaire la condition d'une superposition radiale d'un nombre d'éléments de renforcement métalliques inférieur ou égal à 5, une nouvelle simulation de pose de la période T est opérée avec une diminution de l'amplitude plus importante.

Cette opération est réitérée jusqu'à obtenir une superposition radiale d'un nombre d'éléments de renforcement métalliques de ladite au moins une bandelette inférieur ou égal à 5 pour enfin revenir ensuite à la période suivante à nouveau simulée avec une amplitude maximum l_{Smax}.

[0051] Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, la courbe périodique est une sinusoïde.

[0052] De préférence également, l'amplitude maximum l_{Smax}de la courbe périodique est supérieure à 60% et de préférence encore inférieure à 90 % de la largeur de la bande de roulement. Une telle réalisation permet de former une armature de sommet proche de conceptions usuelles dont l'armature de sommet est constituée de plusieurs couches de travail.

[0053] De préférence selon l'invention, l'angle α est inférieur à 45°. Au cours des variations de l'amplitude l_S, les inventeurs choisissent de maintenir l'angle dans une plage comprise entre 15° et 45° pour conduire aux propriétés souhaitées du pneumatique notamment en termes de rigidité de dérive.

[0054] Selon un mode réalisation avantageux de l'invention, la différence d'amplitude l_S entre deux périodes T d'amplitudes différentes est supérieure à 100 % de la largeur l_b de la bandelette. Les inventeurs ont en effet su mettre en évidence qu'en deçà de cette valeur, l'obtention d'une diminution du nombre de superpositions radiales des éléments de renforcement métalliques est beaucoup plus aléatoire. Ce choix de diminution de l'amplitude $l_S$permet d'obtenir la diminution du nombre de superpositions radiales des éléments de renforcement métalliques en une seule itération dans la majorité des cas.

[0055] Avantageusement encore selon l'invention, la différence d'angle α entre deux périodes T d'amplitudes différentes est inférieure à 8°. Selon les inventeurs, une pose dans ces conditions permet de s'assurer de conserver le fonctionnement souhaité du pneumatique sans voir apparaître des effets indésirables lors d'un roulage dans des conditions particulières en termes de sollicitations.

[0056] Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, les éléments de renforcement métalliques sont des câbles.

[0057] Selon ce mode de réalisation préféré de l'invention, le diamètre des câbles est inférieur à 1.60 mm et de préférence inférieur à 1.00 mm.

[0058] De préférence selon l'invention, les câbles sont constitués de fils de diamètres inférieurs à 0,30 mm et de préférence de diamètres inférieurs à 0,20 mm.

[0059] Ces choix dimensionnels des câbles et des fils les constituant sont plus particulièrement favorables pour faciliter le retournement de la bandelette lors de la pose en zigzag.

[0060] Une variante avantageuse de l'invention prévoit que la bandelette présente une force

à rupture par unité de largeur supérieure à 2*Pg*R, avec

[0061] R : le rayon de courbure dans le plan équatorial de la surface de pose de la bandelette, mesuré sur une coupe méridienne du pneu,

[0062] Pg : la pression nominale de gonflage du pneumatique selon la norme ETRTO.

[0063] Selon une première variante de réalisation de l'invention, l'armature de sommet comporte au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels.

[0064] Selon cette variante de réalisation de l'invention, ladite au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels est avantageusement radialement extérieure audit au moins un premier bicouche de sommet.

[0065] Ladite au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels est ainsi radialement séparée de l'armature de carcasse par ledit au moins un premier bicouche de sommet de façon à limiter les sollicitations desdits éléments de renforcement circonférentiels et ne pas trop les fatiguer.

[0066] Avantageusement selon l'invention, la couche d'éléments de renforcement circonférentiels présente une largeur axiale supérieure à 0.5xS.

[0067] S est la largeur maximale axiale du pneumatique, lorsque ce dernier est monté sur sa jante de service et gonflé à sa pression recommandée.

[0068] Les largeurs axiales des couches d'éléments de renforcement sont mesurées sur une coupe transversale d'un pneumatique, le pneumatique étant donc dans un état non gonflé.

[0069] Selon un mode de réalisation avantageux de l'invention, les éléments de renforcement d'au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels sont des éléments de renforcement métalliques présentant un module sécant à 0,7 % d'allongement compris entre 10 et 120 GPa et un module tangent maximum inférieur à 150 GPa.

[0070] Selon une réalisation préférée, le module sécant des éléments de renforcement à 0,7 % d'allongement est inférieur à 100 GPa et supérieur à 20 GPa, de préférence compris entre 30 et 90 GPa et de préférence encore inférieur à 80 GPa.

[0071] De préférence également, le module tangent maximum des éléments de renforcement est inférieur à 130 GPa et de préférence encore inférieur à 120 GPa.

[0072] Les modules exprimés ci-dessus sont mesurés sur une courbe contrainte de traction en fonction de l'allongement déterminée avec une précontrainte de 20 MPa, la contrainte de traction correspondant à une tension mesurée ramenée à la section de métal de l'élément de renforcement. Les mesures sont réalisées sur des câbles extraits du pneumatique sur une partie de la couche d'éléments de renforcement circonférentiels s'étendant depuis une extrémité axiale de ladite couche sur une largeur axiale de 50 mm vers l'intérieur de ladite couche.

[0073] Les modules des mêmes éléments de renforcement peuvent être mesurés sur une

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

[0074] Selon cette formulation relative à la section globale de l'élément de renforcement, les éléments de renforcement des parties axialement extérieures et de la partie centrale d'au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels sont des éléments de renforcement métalliques présentant un module sécant à 0,7 % d'allongement compris entre 5 et 60 GPa et un module tangent maximum inférieur à 75 GPa.

[0075] Selon une réalisation préférée, le module sécant des éléments de renforcement à 0,7 % d'allongement est inférieur à 50 Gpa et supérieur à 10 GPa, de préférence compris entre 15 et 45 GPa et de préférence encore inférieure à 40 GPa.

[0076] De préférence également, le module tangent maximum des éléments de renforcement est inférieur à 65 GPa et de préférence encore inférieur à 60 GPa.

[0077] Selon un mode de réalisation préféré, les éléments de renforcements d'au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels sont des éléments de renforcement métalliques présentant une courbe contrainte de traction en fonction de l'allongement relatif ayant des faibles pentes pour les faibles allongements et une pente sensiblement constante et forte pour les allongements supérieurs.

[0078] Les différentes caractéristiques des éléments de renforcement énoncées ci-dessus sont mesurées sur des éléments de renforcement prélevés sur des pneumatiques.

[0079] Des éléments de renforcement plus particulièrement adaptés à la réalisation d'au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels selon l'invention sont par exemple des assemblages de formule 21.23, dont la construction est 3x(0.26+6x0.23) 4.8/7.5 SS ; ce câble à torons est constitué de 21 fils élémentaires de formule 3 x (1+6), avec 3 torons tordus ensembles chacun constitué de 7 fils, un fil formant une âme centrale de diamètre égal à 26/100 mm et 6 fils enroulés de diamètre égal à 23/100 mm. Un tel câble présente un module sécant à 0,7% égal à 45 GPa et un module tangent maximum égal à 98 GPa, mesurés sur une courbe contrainte de traction en fonction de l'allongement déterminée avec une précontrainte de 20 MPa, la contrainte de traction correspondant à une tension mesurée ramenée à la section de métal de l'élément de renforcement. Sur une courbe contrainte de traction en fonction de l'allongement déterminée avec une précontrainte de 10 MPa, la contrainte de traction correspondant à une tension mesurée ramenée à la section globale de l'élément de renforcement, ce câble de formule 21.23 présente un module sécant à 0,7% égal à 23 GPa et un module tangent maximum égal à 49 GPa.

[0080] De la même façon, un autre exemple d'éléments de renforcement est un assemblage de formule 21.28, dont la construction est 3x(0.32+6x0.28) 5.6/9.3 SS. Ce câble présente un module sécant à 0,7% égal à 56 GPa et un module tangent maximum égal à 102 GPa, mesurés sur une courbe contrainte de traction en fonction de l'allongement déterminée avec une précontrainte de 20 MPa, la contrainte de traction correspondant à une tension mesurée ramenée à la section de métal de l'élément de renforcement. Sur une courbe contrainte de traction en fonction de l'allongement déterminée avec une précontrainte de 10 MPa, la contrainte de traction correspondant à une tension mesurée ramenée à la section globale de l'élément de renforcement, ce câble de formule 21.28 présente un module sécant à 0,7% égal à 27 GPa et un module tangent maximum égal à 49 GPa.

[0081] L'utilisation de tels éléments de renforcement dans au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels permet notamment de conserver des rigidités de la couche satisfaisante y compris après les étapes de conformation et de cuisson dans des procédés de fabrication usuels.

[0082] Selon un deuxième mode de réalisation de l'invention, les éléments de renforcement circonférentiels peuvent être formées d'éléments métalliques inextensibles et coupés de manière à former des tronçons de longueur très inférieure à la circonférence de la couche la moins longue, mais préférentiellement supérieure à 0,1 fois ladite circonférence, les coupures entre tronçons étant axialement décalées les unes par rapport aux autres. De préférence encore, le module d'élasticité à la traction par unité de largeur de la couche additionnelle est inférieur au module d'élasticité à la traction, mesuré dans les mêmes conditions, de la couche de sommet de travail la plus extensible. Un tel mode de réalisation permet de conférer, de manière simple, à la couche d'éléments de renforcement circonférentiels un module pouvant facilement être ajusté (par le choix des intervalles entre tronçons d'une même rangée), mais, dans tous les cas, plus faible que le module de la couche constituée des mêmes éléments métalliques mais continus, le module de la couche additionnelle étant mesuré sur une couche vulcanisée d'éléments coupés, prélevée sur le pneumatique.

[0083] Selon un troisième mode de réalisation de l'invention, les éléments de renforcement circonférentiels sont des éléments métalliques ondulés, le rapport a/λ de l'amplitude d'ondulation sur la longueur d'onde étant au plus égale à 0,09. De préférence, le module d'élasticité à la traction par unité de largeur de la couche additionnelle est inférieur au module d'élasticité à la traction, mesuré dans les mêmes conditions, de la couche de sommet de travail la plus extensible.

[0084] Selon une deuxième variante de réalisation de l'invention, les inventeurs proposent de substituer à la couche d'éléments de renforcement circonférentiels, proposée selon la première variante de réalisation de l'invention ci-dessus présentée, un deuxième

bicouche de sommet constitué par un enroulement circonférentiel en zigzag d'une bandelette d'éléments de renforcement métalliques insérés entre deux couches de calandrage de mélange élastomérique.

[0085] Selon cette deuxième variante de réalisation de l'invention, l'armature de sommet comprend au moins un deuxième bicouche de sommet, radialement extérieur audit au moins un premier bicouche, constitué par un enroulement circonférentiel en zigzag d'une bandelette d'éléments de renforcement métalliques insérés entre deux couches de calandrage de mélange élastomérique, dans lequel:

- ladite bandelette présente une largeur l_b',
- la trajectoire de l'enroulement circonférentiel en zigzag est une courbe périodique ayant une période T' et une amplitude l_s',
- ladite courbe périodique formant, avec la direction circonférentielle, un angle α' mesuré au niveau des points de la courbe positionnés dans le plan équatorial supérieur à 10°,
- ladite courbe périodique s'étendant sur un nombre N' de périodes T' réparties sur un nombre P' de tours de pneumatique,
- l'amplitude l_s' étant inférieure à l'amplitude l_s,
- l'angle α' étant inférieur à l'angle α, dudit au moins un premier bicouche de sommet, et inférieur à 20°,
- la densité moyenne apparente d'éléments de renforcement métalliques de ladite au moins une bandelette dans le plan équatorial est supérieure à 0.6,
- le nombre d'éléments de renforcement métalliques de ladite au moins une bandelette radialement superposés est inférieur ou égal à 5,
- le rayon de courbure minimum R_{min}' des éléments de renforcement métalliques satisfait la relation $\frac{1}{4} * R^2/ls' < R_{min}' < 3/2*R^2/ls'$,
- l'amplitude l_s' de ladite courbe périodique varie dans une plage comprise entre 70 % et 100 % de la valeur maximum de l'amplitude $l_s'_{max,}$et
- l'amplitude l_s'd'au moins une période T est inférieure à 95 % de l'amplitude $l_s'_{max,}$.

[0086] Selon cette deuxième variante de réalisation de l'invention, les inventeurs proposent la réalisation d'un deuxième bicouche de sommet d'amplitude l_s' avantageusement inférieure à celle du premier bicouche de sommet et formant donc une armature de travail de largeur axiale plus étroite, avec un angle α' également inférieur à celui du premier bicouche de sommet.

[0087] Selon encore cette deuxième variante de réalisation de l'invention, l'angle α' formé par les éléments de renforcement de ce deuxième bicouche avec la direction circonférentielle dans le plan équatorial est inférieur à l'angle α formé par les éléments de renforcement du premier bicouche de sommet pour favoriser un meilleur frettage du sommet du pneumatique.

[0088] Avantageusement selon cette deuxième variante de l'invention l'amplitude l_S' est inférieure à 80% de l'amplitude l_S.

[0089] Avantageusement encore selon cette deuxième variante de l'invention, la valeur maximum de l'amplitude $l_S'_{max}$est comprise entre 40% et 80% de la largeur de la bande de roulement du pneumatique.

[0090] Selon un mode de réalisation préféré de cette deuxième variante la largeur l_b' de la bandelette formant le deuxième bicouche de sommet est égale à la largeur $l_b$de la bandelette formant le premier bicouche de sommet.

[0091] Les éléments de renforcement de ce deuxième bicouche de sommet sont de préférence des câbles.

[0092] Selon ce mode de réalisation préféré de l'invention, le diamètre des câbles est inférieur à 1.60 mm et de préférence inférieur à 1.00 mm.

[0093] De préférence selon l'invention, les câbles sont constitués de fils de diamètres inférieurs à 0,30 mm et de préférence de diamètres inférieurs à 0,20 mm.

[0094] Les éléments métalliques sont préférentiellement des câbles d'acier.

[0095] D'autres détails et caractéristiques avantageux de l'invention ressortiront ci-après de la description des exemples de réalisation de l'invention en référence aux figures 1 à 7 qui représentent :

- [Fig.1], une vue méridienne d'un schéma d'un pneumatique selon un premier mode de réalisation de l'invention,
- [Fig.2], une vue méridienne d'un schéma d'un pneumatique selon un deuxième mode de réalisation de l'invention,
- [Fig.3], une vue en perspective d'un enroulement circonférentiel en zigzag d'une bandelette, selon une courbe périodique, sur une surface de pose,
- [Fig.4], une représentation graphique en déroulé et mise à plat d'une succession de périodes de pose d'une bandelette,
- [Fig.5], une vue en projection sur un plan de plusieurs tours d'enroulement d'une bandelette sur un pneumatique avec une amplitude constante,
- [Fig.6], une représentation graphique en déroulé et mise à plat d'une succession de périodes de pose d'une bandelette,
- [Fig.7], une vue en projection sur un plan de plusieurs tours d'enroulement d'une bandelette sur un pneumatique avec des amplitudes différentes.

[0096] Les figures ne sont pas représentées à l'échelle pour en simplifier la compréhension. Les figures 1 et 2 ne représentent qu'une demi-vue d'un pneumatique qui se prolonge de manière symétrique par rapport à l'axe XX' qui représente le plan médian circonférentiel, ou plan équatorial, d'un pneumatique.

[0097] Sur la [Fig.1], le pneumatique 1 est de dimension 315/70 R 22.5. Ledit pneumatique 1 comprend une armature de carcasse radiale 2 ancrée dans deux bourrelets, non re-

présentés sur la figure. L'armature de carcasse est formée d'une seule couche de câbles métalliques. Cette armature de carcasse 2 est frettée par une armature de sommet 4, formée radialement de l'intérieur à l'extérieur :

- d'un bicouche 41 réalisé par trancannage d'une bandelette,
- d'une couche d'éléments de renforcement circonférentiels 43 formée de câbles métalliques en acier 21x23.

[0098] L'armature de sommet est elle-même coiffée d'une bande de roulement 5.

[0099] La bandelette utilisée pour former le bicouche est constituée de 8 câbles 19.18NF (1+6+12 fils de 0.18 mm) présentant un diamètre de 0.9 mm, répartis avec un pas de 1.23 mm. La bandelette présente une largeur l_b de 9,51 mm et une épaisseur de 1.35 mm.

[0100] Le bicouche 41 est réalisé sur une surface de pose dont le rayon R à l'équateur est égal à 479,2 mm. L'axe de la surface de pose correspond à l'axe de rotation du pneumatique.

[0101] Le bicouche 41 est réalisé selon un enroulement circonférentiel en zigzag de 88 périodes T (N=88) sur 45 tours de roue (P=45). L'amplitude maximum l_{smax} est fixée à 246 mm et le rayon minimum R_{min} à 488,2 mm.

[0102] La réduction choisie de l'amplitude l_S est égale à 153% de la largeur lb de la bandelette soit 14.5 mm.

[0103] La loi de pose appliquée conduit à un nombre de périodes par amplitude l_S selon la répartition du tableau suivant :

Amplitude l_S (mm)	Nombre de périodes
246	55
217	12
202.5	14
188	7

[0104] Le bicouche a été réalisé selon la séquence suivante : 47 périodes d'amplitude 246 mm, 4 périodes d'amplitude 217 mm, 2 périodes de 188 mm, 2 périodes de 202.5 mm, 2 périodes de 246 mm, 4 périodes de 202.5 mm, 2 périodes de 246 mm, 4 périodes de 217 mm, 2 périodes de 188 mm, 2 périodes de 202.5 mm, 2 périodes de 246 mm, 4 périodes de 202.5 mm, 2 périodes de 246 mm, 4 périodes d'amplitude 217 mm, 2 périodes de 188 mm, 2 périodes de 202.5 mm et 1 période de 188 mm.

[0105] La densité moyenne apparente de câbles de la bandelette mesurée au niveau du plan

équatorial est égale à 0.61.

[0106] Dans une coupe méridienne du pneumatique, le nombre maximum de câbles de la bandelette radialement superposés est égal à 5.

[0107] Le pneumatique 21 de la [Fig.2] diffère du pneumatique 1 de la [Fig.1] par son armature de sommet 24 qui est formée radialement de l'intérieur à l'extérieur :

- d'un premier bicouche 241 réalisé par trancannage d'une bandelette,
- d'un deuxième bicouche 242 réalisé par trancannage d'une bandelette.

[0108] Le bicouche 241 radialement le plus intérieur est identique à celui de la [Fig.1].

[0109] Le bicouche 242 est réalisé avec la même bandelette selon une loi de pose différente.

[0110] Le bicouche 242 est réalisé sur une surface de pose dont le rayon R à l'équateur est égal à 479.7 mm.

[0111] Le bicouche 242 est réalisé selon un enroulement circonférentiel en zigzag de 41 périodes T' (N'=41) sur 26 tours de roue (P'=26). L'amplitude maximum $l_s'_{max}$ est fixée à 166 mm et le rayon minimum R_{min}' à 1114.9 mm.

[0112] La réduction choisie de l'amplitude l_S' est égale à 116% de la largeur lb de la bandelette soit 11 mm.

[0113] La loi de pose appliquée conduit à un nombre de périodes par amplitude l_S'selon la répartition du tableau suivant :

Amplitude l_S' (mm)	Nombre de périodes
166	30
133	11

[0114] Le bicouche 242 a été réalisé selon la séquence suivante : 30 périodes d'amplitude 166 mm puis 11 périodes d'amplitude 133 mm.

[0115] La densité moyenne apparente de câbles de la bandelette du deuxième bicouche 242 mesurée au niveau du plan équatorial est égale à 0.62.

[0116] Dans une coupe méridienne du pneumatique, le nombre maximum de câbles de la bandelette du deuxième bicouche 242 radialement superposés est égal à 4.

[0117] Les figures 3 à 7 et les descriptions associées qui suivent ne sont pas faites en référence à des exemples de réalisations de l'invention mais permettent d'apporter une clarification et une meilleure compréhension de l'invention en illustrant des réalisations de bicouches par enroulement d'une bandelette en zigzag sur une surface de pose.

[0118] La [Fig.3] est une vue en perspective d'un enroulement circonférentiel en zigzag d'une bandelette 6 de largeur lb, selon une courbe périodique 7, sur une surface cy-

lindrique de pose 8, de révolution autour de l'axe de rotation du pneumatique et ayant un rayon R. Cet enroulement circonférentiel en zigzag d'une bandelette 5 est constitutif d'un bicouche de sommet.

[0119] La [Fig.4] illustre une représentation graphique en déroulé et mise à plat d'une succession de périodes de pose d'une bandelette. Sur cette [Fig.4], on voit une succession de périodes T dont l'amplitude l_S est constante et va constituer la largeur du bicouche formé sur le pneumatique.

[0120] La [Fig.5] représente une vue en projection sur un plan de plusieurs tours d'enroulement d'une bandelette sur un pneumatique avec une amplitude constante. Le bicouche ainsi formé sur le pneumatique présente la largeur l_S.

[0121] La [Fig.6] illustre une représentation graphique en déroulé et mise à plat d'une succession de périodes T de pose d'une bandelette. Sur cette [Fig.6], est représentée une succession de périodes T dont l'amplitude l_S varie en alternance entre deux valeurs l_{Smax}etl_{Smin}. L'amplitude l_{Smax} définit la largeur du bicouche formé sur le pneumatique.

[0122] La [Fig.7] représente une vue en projection sur un plan de plusieurs tours d'enroulement d'une bandelette sur un pneumatique avec une amplitude l_S qui varie entre les deux valeurs l_{Smax}etl_{Smin}. Le bicouche ainsi formé sur le pneumatique présente la largeur l_{Smax}.

[0123] Le pneumatique 21 selon l'invention, illustré sur la [Fig.2], est comparé à un pneumatique de référence H de même dimension.

[0124] Ce pneumatique de référence H diffère des pneumatiques selon l'invention par une armature de sommet formée radialement de l'intérieur à l'extérieur :

- d'une première couche de travail formée de câbles métalliques orientés d'un angle égal à 16°, par rapport à la direction circonférentielle,
- d'une couche d'éléments de renforcement circonférentiels formée de câbles métalliques en acier 21.23,
- d'une seconde couche de travail formée de câbles métalliques orientés d'un angle égal à 30° et croisés avec les câbles métalliques de la première couche de travail, les câbles de chacune des couches de travail étant orientés de part et d'autre de la direction circonférentielle.

[0125] Les câbles métalliques des deux couches de travail sont des câbles de formule 9.35. Ils sont répartis dans chacune des couches de travail avec une distance entre les éléments de renforcement, mesurée selon la normale à la direction de la ligne moyenne du câble égale à 2.5 mm.

[0126] La largeur axiale de la première couche de travail est égale à 246 mm.

[0127] La largeur axiale de la deuxième couche de travail est égale à 227 mm.

[0128] La largeur axiale de la couche d'éléments de renforcement circonférentiels est égale à 200 mm.

[0129] Des premiers essais d'endurance, particulièrement sollicitant thermiquement, ont été réalisés sur une machine de test imposant à chacun des pneumatiques un roulage ligne droite à une vitesse égale à l'indice de vitesse maximum prescrit pour ledit pneumatique (speed index) sous une charge initiale de 4000 Kg progressivement augmentée pour réduire la durée du test.

[0130] Les essais ainsi réalisés ont montré que la distance parcourue par le pneumatique 21 selon l'invention est sensiblement identique à celle parcourue par le pneumatique de référence H.

[0131] D'autres essais d'endurance, particulièrement sollicitant mécaniquement, ont été réalisés sur une machine de tests imposant de façon cyclique un effort transversal et une surcharge dynamique aux pneumatiques. Les essais ont été réalisés pour le pneumatique selon l'invention avec des conditions identiques à celles appliquées aux pneumatiques de référence.

[0132] Les essais ainsi réalisés ont montré que la distance parcourue par le pneumatique selon l'invention est supérieure à celle parcourue par le pneumatique de référence H d'environ 45%.

[0133] Des tests visant à caractériser la résistance à la rupture d'une armature de sommet de pneumatique soumise à des chocs ont également été réalisés. Ces tests consistent à faire rouler un pneumatique, gonflé à une pression recommandée et soumis à une charge recommandée, sur un obstacle ou indenteur cylindrique de diamètre égal à 1.5 pouce, soit 38.1 mm, à tête hémisphérique, et d'une hauteur déterminée, venant en appui au centre de la bande de roulement. La résistance à la rupture est caractérisée par la hauteur critique de l'indenteur, c'est-à-dire la hauteur maximale de l'indenteur entraînant une rupture totale de l'armature de sommet, c'est-à-dire de la rupture de toutes les couches de sommet. Les résultats sont représentatifs de l'énergie nécessaire pour obtenir la rupture du bloc sommet.

[0134] Un troisième pneumatique F a été comparé au pneumatique 21 selon l'invention et au pneumatique de référence H.

[0135] Ce pneumatique F est réalisé d'une manière similaire au pneumatique 21 selon l'invention mais ne satisfaisant pas les critères de l'invention et notamment sans faire varier l'amplitude de la période d'enroulement des bandelettes et avec une densité moyenne apparente d'éléments de renforcement métalliques dans le plan équatorial du premier bicouche égale à 0.57 et une densité moyenne apparente d'éléments de renforcement métalliques dans le plan équatorial du deuxième bicouche égale à 0.59.

[0136] Les essais ainsi réalisés ont montré que le pneumatique selon l'invention conduit à des valeurs sensiblement équivalentes à celles obtenues avec le pneumatique de référence H. Ces valeurs du pneumatique selon l'invention et du pneumatique de référence H sont par ailleurs de l'ordre de 10 % supérieures à celles obtenues avec le

pneumatique F.

Revendications

[Revendication 1] Pneumatique (1) comprenant une armature de carcasse radiale (2), ledit pneumatique comprenant une armature de sommet (4), comprenant au moins un premier bicouche de sommet (41) constitué par un enroulement circonférentiel en zigzag d'une bandelette (5) d'au moins un élément de renforcement métallique noyé dans un mélange élastomérique, l'armature de sommet (4) étant coiffée radialement d'une bande de roulement (6), ladite bande de roulement étant réunie à deux bourrelets (3) par l'intermédiaire de deux flancs, dans lequel:

- ladite bandelette (5) présente une largeur (l_b),
- la trajectoire de l'enroulement circonférentiel en zigzag est une courbe périodique (7), dont l'origine est fixée dans le plan équatorial, ayant une période T et une amplitude l_S,
- ladite courbe périodique formant, avec la direction circonférentielle, un angle α mesuré au niveau des points de la courbe positionnés dans le plan équatorial supérieur à 15°,
- ladite courbe périodique s'étendant sur un nombre N de périodes T réparties sur un nombre P de tours de pneumatique, **caractérisé en ce que**
- la densité moyenne apparente d'éléments de renforcement métalliques de ladite au moins une bandelette dans le plan équatorial, définie par le rapport de la longueur de métal dans le plan équatorial, mesurée selon la direction circonférentielle sur un tour de roue, sur la circonférence dans le plan équatorial correspondant à $2\pi R$, est supérieure à 0.6,
- le nombre d'éléments de renforcement métalliques de ladite au moins une bandelette radialement superposés est inférieur ou égal à 5,
- le rayon de courbure minimum R_{min} des éléments de renforcement métalliques satisfait la relation $¼ * R^2/ls < R_{min} < 3/2*R^2/ls$, avec
R : le rayon de courbure dans le plan équatorial de la surface de pose de la bandelette, mesuré sur une coupe méridienne du pneu,
- l'amplitude l_S de ladite courbe périodique, définie par la distance axiale mesurée entre deux points d'un élément de renforcement axialement les plus extérieurs sur une même période, varie dans une plage comprise entre 70 % et 100 % de la valeur maximum de l'amplitude l_{Smax},et
- l'amplitude l_Sd'au moins une période T est inférieure à 95 % de l'amplitude l_{Smax}.

[Revendication 2] Pneumatique (1) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la courbe périodique est une sinusoïde.

[Revendication 3] Pneumatique (1) selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** l'angle α est inférieur à 45°.

[Revendication 4] Pneumatique (1) selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** l'amplitude $l_s$de la courbe périodique est supérieure à 60 % et de préférence inférieure à 90 % de la largeur de la bande de roulement.

[Revendication 5] Pneumatique (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la différence d'amplitude entre deux périodes T d'amplitudes différentes est supérieure à 100 % de la largeur (l_b) de la bandelette (5).

[Revendication 6] Pneumatique (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la différence d'angle α entre deux périodes T d'amplitudes différentes est inférieure à 8°.

[Revendication 7] Pneumatique (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la bandelette présente une force à rupture par unité de largeur supérieure à 2*Pg*R, Pg étant la pression nominale de gonflage du pneumatique selon la norme ETRTO.

[Revendication 8] Pneumatique (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les éléments de renforcement métalliques sont des câbles.

[Revendication 9] Pneumatique (1) selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** le diamètre des câbles est inférieur à 1.60 mm et de préférence inférieur à 1.00 mm.

[Revendication 10] Pneumatique (1) selon l'une des revendications 8 ou 9, **caractérisé en ce que** les câbles sont constitués de fils de diamètres inférieurs à 0,30 mm et de préférence de diamètres inférieurs à 0,20 mm.

[Revendication 11] Pneumatique (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'armature de sommet comporte au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels.

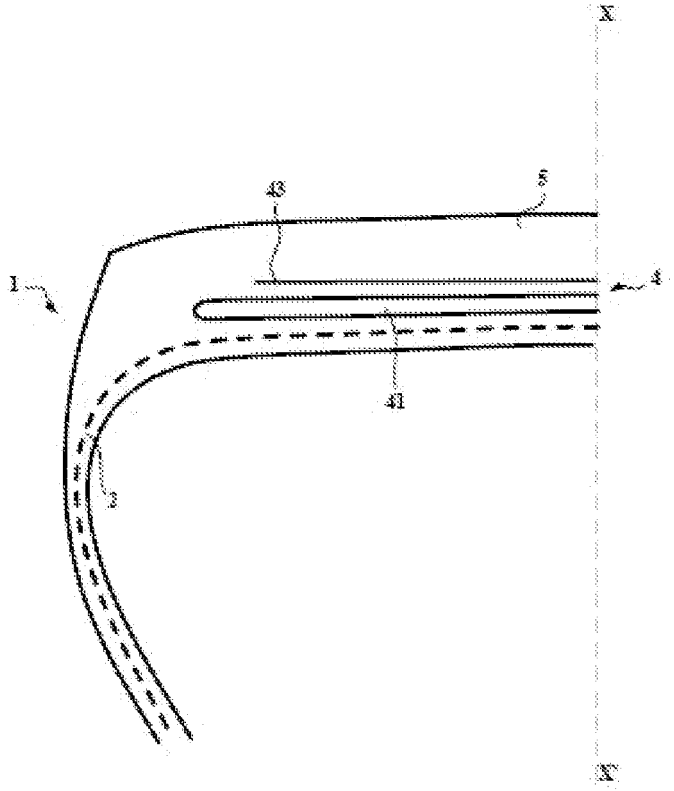
[Revendication 12] Pneumatique (1) selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** ladite au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels est radialement extérieure audit au moins un premier bicouche de sommet (41).

[Revendication 13] Pneumatique (1) selon l'une des revendications 11 ou 12, **caractérisé en ce que** les éléments de renforcement de ladite au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels sont des éléments de renforcement métalliques présentant un module sécant à 0,7 % d'allongement compris entre 10 et 120 GPa et un module tangent maximum inférieur à 150 GPa.

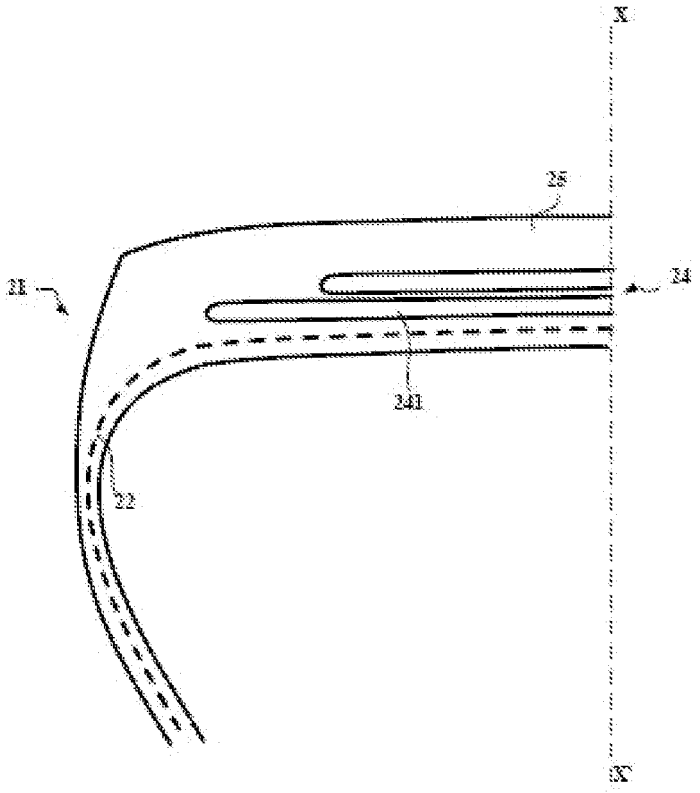
[Revendication 14] Pneumatique (1) selon l'une des revendications 1 à 10, l'armature de sommet (4), comprenant au moins un deuxième bicouche de sommet (42), radialement extérieur audit au moins un premier bicouche (41), constitué par un enroulement circonférentiel en zigzag d'une bandelette (5') d'éléments de renforcement métalliques insérés entre deux couches de calandrage de mélange élastomérique, dans lequel:
- ladite bandelette (5') présente une largeur (l_b'),
- la trajectoire de l'enroulement circonférentiel en zigzag est une courbe périodique ayant une période T' et une amplitude l_S',
- ladite courbe périodique formant, avec la direction circonférentielle, un angle α' mesuré au niveau des points de la courbe positionnés dans le plan équatorial supérieur à 10°,
- ladite courbe périodique s'étendant sur un nombre N' de périodes T' réparties sur un nombre P' de tours de pneumatique, **caractérisé en ce que**
- l'amplitude l_S' étant inférieure à l'amplitude l_S,
- l'angle α' est inférieur à l'angle α, dudit au moins un premier bicouche, et inférieur à 20°,
- la densité moyenne apparente d'éléments de renforcement métalliques de ladite au moins une bandelette dans le plan équatorial est supérieure à 0.6,
- le nombre d'éléments de renforcement métalliques de ladite au moins une bandelette radialement superposés est inférieur ou égal à 5,
- le rayon de courbure minimum R_{min}' des éléments de renforcement métalliques satisfait la relation $¼ * R^2/ls' < R_{min}' < 3/2*R^2/ls'$,
- l'amplitude l_S' de ladite courbe périodique varie dans une plage comprise entre 70 % et 100 % de la valeur maximum de l'amplitude $l_S'_{max,}$et
- l'amplitude l_S'd'au moins une période T est inférieure à 95 % de l'amplitude $l_S'_{max,}$.

[Revendication 15] Pneumatique (1) selon la revendication 14, **caractérisé en ce que** la largeur l_b' de la bandelette formant le deuxième bicouche de sommet est égale à la largeur $l_b$de la bandelette formant le premier bicouche de sommet.

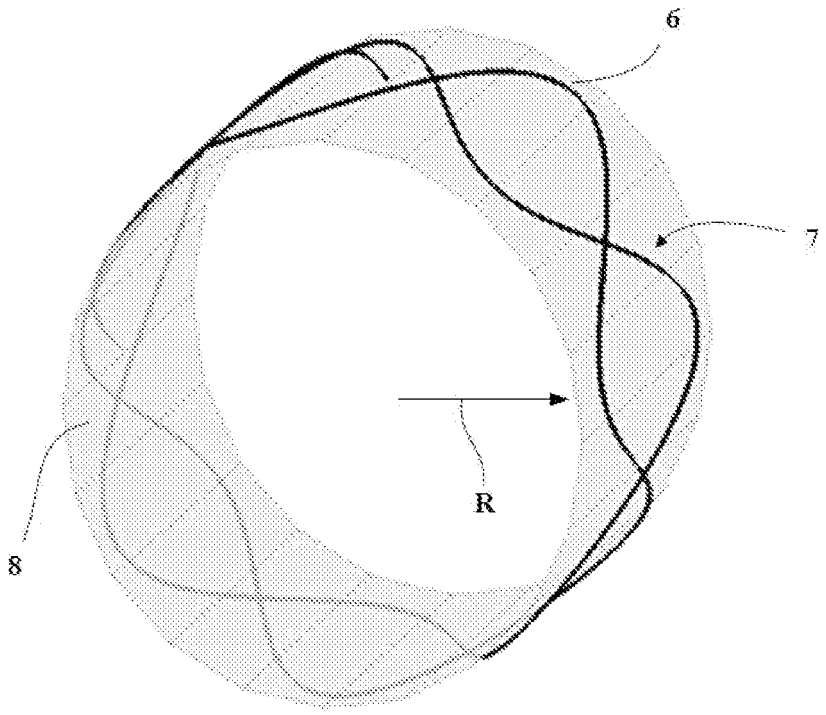
[Fig. 1]



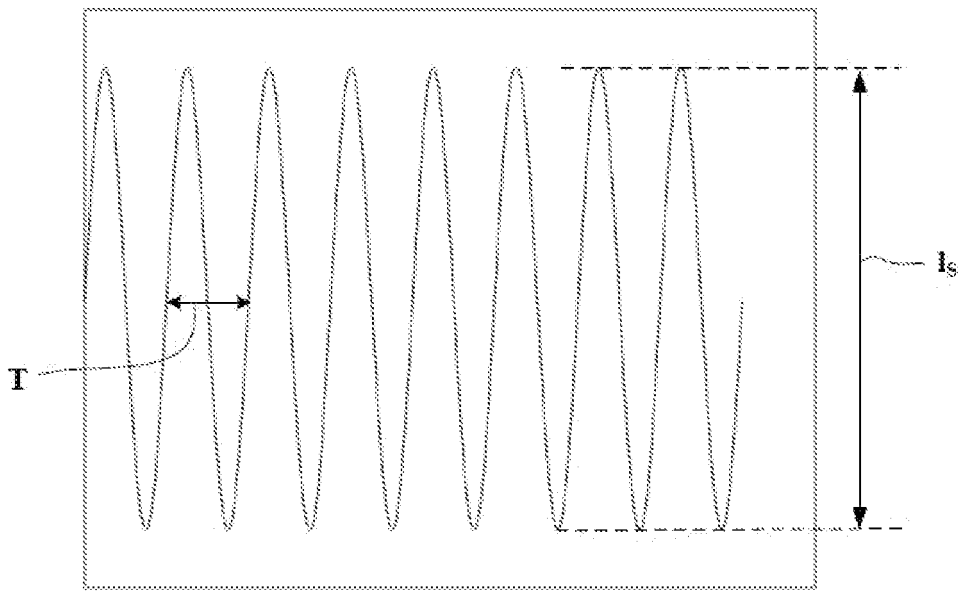
[Fig. 2]



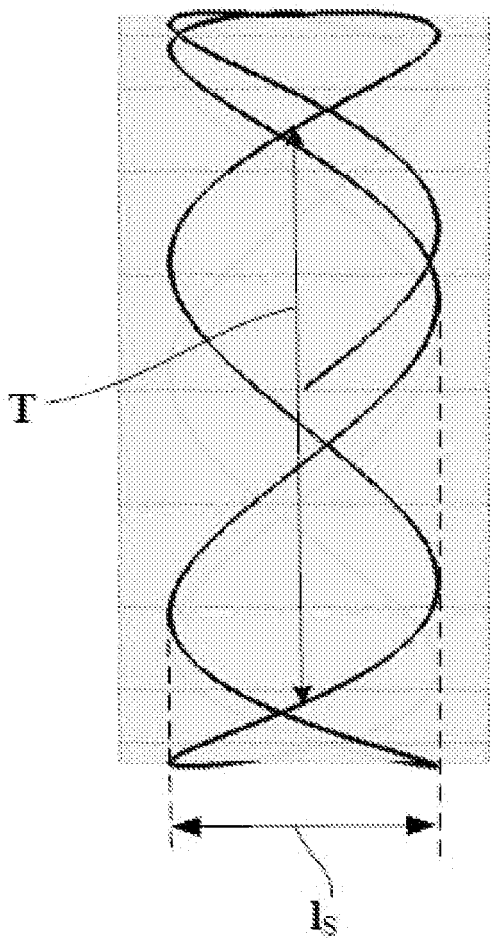
[Fig. 3]



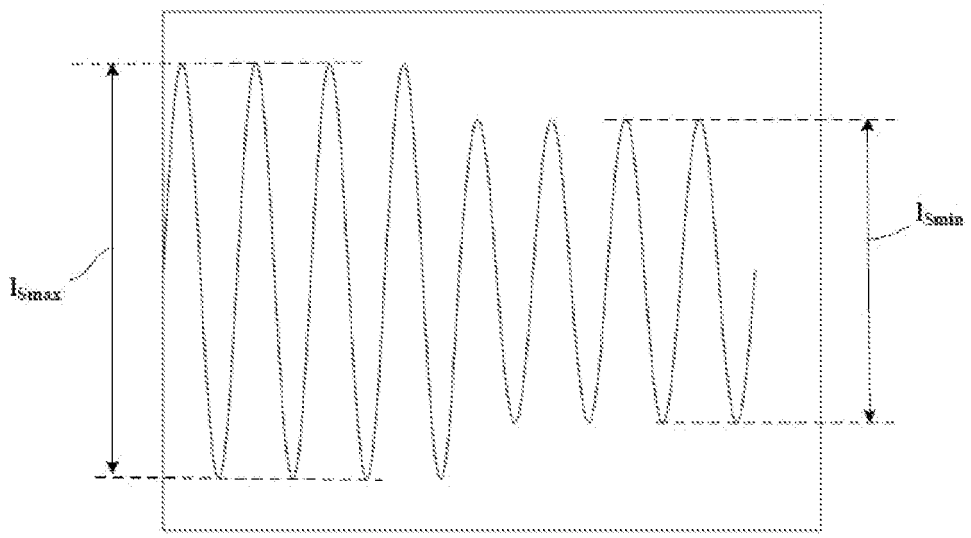
[Fig. 4]



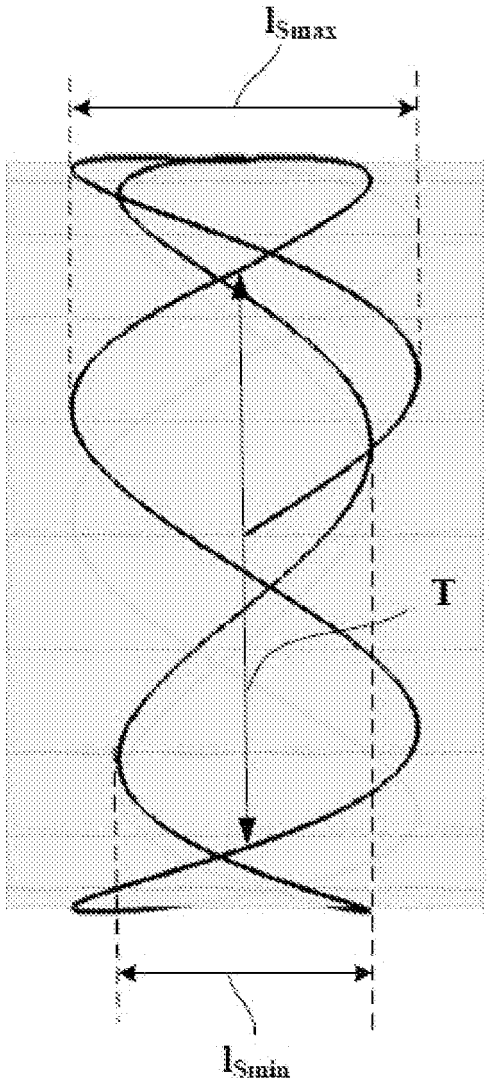
[Fig. 5]



[Fig. 6]



[Fig. 7]



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 (nouveauté) 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

[x] Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

[x] 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.

[x] 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

EP 2 199 108 A1 (GOODYEAR TIRE & RUBBER [US]) 23 juin 2010 (2010-06-23)

EP 2 199 105 A1 (GOODYEAR TIRE & RUBBER [US]) 23 juin 2010 (2010-06-23)

FR 3 089 455 A1 (MICHELIN & CIE [FR]) 12 juin 2020 (2020-06-12)

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

NEANT