

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 148 541

21 N° d'enregistrement national : 23 04724

51 Int Cl⁸ : B 60 C 11/03 (2023.01)

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 12.05.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 15.11.24 Bulletin 24/46.

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

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : COMPAGNIE GENERALE DES ETA-
BLISSEMENTS MICHELIN Société en commandite par
actions — FR.

72 Inventeur(s) : VOISIN Floriandre, LABROUSSE
Jérôme, GERVAIS Guillaume et LAVIELLE Franck.

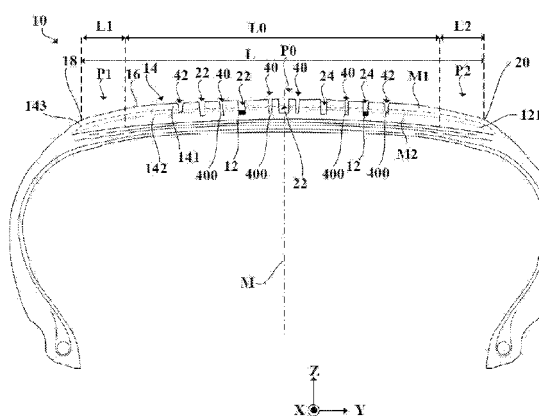
73 Titulaire(s) : COMPAGNIE GENERALE DES ETA-
BLISSEMENTS MICHELIN Société en commandite par
actions.

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

54 Pneumatique à bande de roulement molle et à sculpture rigide.

57 Le pneumatique (10) comprend une bande de roulement (14) comprenant une portion axialement centrale (P0) comprenant des incisions dites profondes, chaque incision profonde (40) de la portion axialement centrale (P0) présentant une profondeur H_i telle que $H_i/H_s \geq 3 \text{ à } 50\%$, avec H_s étant la hauteur de sculpture. La portion axialement centrale (P0) de la couche de roulement (141) comprend un matériau élastomérique (M1) présentant un module complexe de cisaillement dynamique G^*_1 tel que $G^*_1 \geq 1,50 \text{ MPa}$, une température de transition vitreuse Tg_1 telle que $Tg_1 \geq -23^\circ\text{C}$. Chaque incision profonde présente une profondeur variable de sorte que l'ensemble des incisions profondes de la portion axialement centrale (P0) présente un taux volumique moyen de pontage supérieur ou égal à 25%.

Figure pour l'abrégié : Fig 1



FR 3 148 541 - A1



Description

Titre de l'invention : Pneumatique à bande de roulement molle et à sculpture rigide

- [0001] La présente invention concerne un pneumatique. Par pneumatique, on entend un bandage destiné à former une cavité en coopérant avec un élément de support, par exemple une jante, cette cavité étant apte à être pressurisée à une pression supérieure à la pression atmosphérique. Un pneumatique selon l'invention présente une structure de forme sensiblement toroïdale de révolution autour d'un axe principal du pneumatique.
- [0002] On connaît de l'état de la technique des pneumatiques 4 saisons, toutes saisons ou hiver pour véhicule de tourisme comprenant un sommet comprenant une bande de roulement ainsi qu'une armature de sommet. Les pneumatiques hiver sont notamment identifiés par un marquage M+S (M+S étant l'acronyme pour « Mud + Snow ») et/ou 3PMSF (3PMSF étant l'acronyme pour « 3 Peak Mountain Snow Flake »). Les pneumatiques 4 saisons ou toutes saisons, en raison de leurs performances sur neige présentent également les marquages M+S et/ou 3PMSF. Au contraire, un pneumatique été ne comporte pas de marquage M+S, ni de marquage 3PMSF. De tels pneumatiques sont notamment décrit respectivement dans WO2021/005295.
- [0003] Ces pneumatiques présentent d'excellentes performances d'adhérence sur sol enneigé. Néanmoins, il est souhaitable d'améliorer davantage ces performances. Or, on a observé que l'amélioration de ces performances sur sol enneigé se fait au détriment du comportement du pneumatique, notamment en raison d'une baisse de la rigidité de dérive du pneumatique ainsi que de la résistance à l'usure.
- [0004] L'invention a pour but un pneumatique présentant des performances améliorées sur sol enneigé sans dégrader son comportement ni sa résistance à l'usure.
- [0005] A cet effet, l'invention a pour objet un pneumatique comprenant une bande de roulement portant une surface de roulement, la bande de roulement comprenant une couche de roulement portant au moins une partie de la surface de roulement, la bande de roulement comprenant une portion axialement centrale s'étendant sur une largeur axiale égale à 80% de la largeur axiale de la surface de roulement et axialement centrée sur le plan médian du pneumatique, la portion axialement centrale de la bande de roulement comprenant au moins une découpe la plus profonde de la portion axialement centrale présentant une profondeur H_s , la portion axialement centrale de la bande de roulement comprenant des incisions dites profondes, chaque incision profonde de la portion axialement centrale présentant une profondeur H_i telle que $H_i/H_s \geq 50\%$, la portion axialement centrale de la couche de roulement comprenant un matériau élastomérique, le matériau élastomérique présentant un module complexe de

cisaillement dynamique G^*_1 mesuré selon la norme ASTM D-5992-96, à une température de 60°C et à une fréquence de 10Hz sous une contrainte égale à 0,7 MPa tel que $G^*_1 \leq 1,50$ MPa, le matériau élastomérique présentant une température de transition vitreuse Tg_1 telle que $Tg_1 \leq -23^\circ\text{C}$, et chaque incision profonde de la portion axialement centrale s'étendant selon une direction générale sur la surface de roulement, chaque incision profonde présentant une profondeur variable le long de la direction générale de ladite incision de sorte que l'ensemble des incisions profondes de la portion axialement centrale présente un taux volumique moyen de pontage supérieur ou égal à 25%.

- [0006] Le pneumatique selon l'invention présente des performances sur sol enneigé améliorées et un comportement et une usure non dégradés.
- [0007] En effet, les inventeurs à l'origine de l'invention ont trouvé que certaines propriétés du matériau élastomérique nécessaires à l'atteintes de performances d'adhérence sur sol enneigé, ici le module complexe de cisaillement dynamique G^*_1 et la température de transition vitreuse Tg_1 , entraînaient une baisse de la rigidité du matériau élastomérique. Cette baisse de rigidité conduit à une déformation accrue du matériau élastomérique, notamment sous forte contrainte comme c'est le cas en virage, ce qui détériore le comportement du pneumatique ainsi que la résistance à l'usure. Afin de compenser la dégradation du comportement du pneumatique et de la résistance à l'usure, les inventeurs ont, indépendamment des propriétés du matériau élastomérique, trouvé qu'une bande de roulement présentant une sculpture particulièrement rigide permettait de limiter la déformation de la bande de roulement dans son ensemble et ainsi de compenser la faible rigidité intrinsèque du matériau élastomérique.
- [0008] Les inventeurs ont par ailleurs identifié que le taux volumique de pontage moyen des incisions profondes de la portion axialement centrale était, outre le matériau élastomérique, le paramètre ayant le plus d'influence pour augmenter la rigidité de la bande de roulement. Ainsi, l'invention propose un taux volumique de pontage moyen des incisions profondes de la portion axialement centrale relativement élevé.
- [0009] Le taux volumique de pontage représente la proportion volumique de matériau reliant entre elles les deux faces latérales principales d'une incision profonde. Pour déterminer le taux volumique de pontage moyen, on détermine le taux volumique de pontage individuel de chacune des incisions profondes de la portion axialement centrale et on en fait la moyenne arithmétique. Le taux volumique de pontage individuel d'une incision profonde est égal à $1 - V_i/V_t$ avec :
- Vi le volume de vide de l'incision profonde,
 - Vt le volume théorique d'une incision profonde théorique dont la profondeur est constante et égale à la profondeur maximale de l'incision profonde.
- [0010] Le module complexe en cisaillement G^* et la température de transition vitreuse sont

des propriétés bien connues de l'homme du métier et sont mesurées sur un visco-analyseur de type Metravib VA4000 en utilisant des éprouvettes extraites du pneumatique. On enregistre la réponse des éprouvettes soumises à une sollicitation sinusoïdale en cisaillement simple alterné, à la fréquence de 10 Hz sous une contrainte égale à 0,7 MPa. On effectue un balayage en température entre -60°C et 100°C à une vitesse de 1,5°C/min. L'éprouvette est de section cylindrique telle que décrite dans la norme ASTM D 5992 - 96 (version publiée en Septembre 2006, initialement approuvée en 1996) à la figure X2.1 (mode de réalisation circulaire) et présente un diamètre de 10 mm [0 à + 0.04mm] et une épaisseur de 2 mm [1.85-2.20]. Le module complexe de cisaillement dynamique G^* à 60°C est la valeur de G^* mesurée lorsque la température est égale à 60°C. La température de transition vitreuse T_g est égale à la température pour laquelle la valeur de $\tan \delta$ est maximale. La tangente de l'angle de phase δ entre la force exercée sur l'échantillon et le déplacement de celui-ci traduit une perte dynamique et est égale au rapport G''/G' .

- [0011] De façon classique, on pourra déterminer la surface de roulement sur un pneumatique monté sur une jante de mesure et gonflé à la pression nominale (250 kPa ou 290kPa selon qu'il s'agit d'un pneumatique standard ou renforcé) au sens du manuel de la norme ETRTO (« European Tyre and Rim Technical Organisation »), 2021 comme étant la surface au contact d'un sol lorsque le pneumatique est chargé à 80% de sa capacité de charge au sens du manuel de la norme ETRTO, 2021, charge représentant alors des conditions d'usage habituellement rencontrées.
- [0012] Une découpeure présente, sur la surface de roulement, deux dimensions principales caractéristiques : une largeur et une longueur curviligne telles que la longueur curviligne est au moins égale à deux fois la largeur. Une découpeure est donc délimitée par au moins deux faces latérales principales déterminant sa longueur curviligne et reliées par un fond, les deux faces latérales principales étant distantes l'une de l'autre d'une distance non nulle, dite largeur de la découpeure.
- [0013] Une découpeure désigne soit une rainure, soit une incision et forme un espace débouchant sur la surface de roulement.
- [0014] Une incision est telle que la distance entre les faces latérales principales est appropriée pour permettre la mise en contact au moins partielle des faces latérales principales délimitant ladite incision lors du passage dans l'aire de contact, notamment lorsque le pneumatique est à l'état neuf et dans des conditions usuelles de roulage, comprenant notamment le fait que le pneumatique soit à charge nominale et à pression nominale.
- [0015] Une rainure est telle que la distance entre les faces latérales principales est telle que ces faces latérales principales ne peuvent venir en contact l'une contre l'autre dans des conditions usuelles de roulage, comprenant notamment le fait que le pneumatique soit

à charge nominale et à pression nominale.

- [0016] La largeur d'une découpure est, sur un pneumatique neuf, la distance maximale entre les deux faces latérales principales mesurée, par défaut et dans le cas où la découpure ne comprend pas de chanfrein, à une cote radiale confondue avec la surface de roulement, et par défaut et dans le cas où la découpure comprend un chanfrein, à la cote radiale la plus radialement extérieure de la découpure et radialement intérieure au chanfrein. La largeur est mesurée sensiblement perpendiculairement aux faces latérales principales. S'il est précisé une largeur autre que la largeur par défaut, par exemple une largeur à une cote particulière, la largeur est égale à la distance la plus petite entre les deux faces latérales principales à la cote particulière de la découpure.
- [0017] La profondeur d'une découpure est, sur un pneumatique neuf, la distance radiale maximale entre le fond de la découpure et son projeté sur le sol lors du roulage du pneumatique. La valeur maximale des profondeurs des découpures est nommée hauteur de sculpture.
- [0018] La direction générale d'une découpure est, sur la surface de roulement, la direction définie par la ligne équidistante des parois latérales principales de la découpure.
- [0019] La direction moyenne d'une découpure est, sur la surface de roulement, la droite joignant les deux extrémités de la découpure.
- [0020] Dans des modes de réalisation permettant d'améliorer optionnellement le freinage sur sol sec, la ou chaque découpure est munie de chanfreins. Un chanfrein peut être un chanfrein droit ou un chanfrein arrondi. Un chanfrein droit est formé par une face plane inclinée par rapport à la face d'attaque ou de fuite qu'elle prolonge jusqu'au bord d'attaque ou de fuite délimitant circonférentiellement la découpure. Un chanfrein arrondi est formé par une face courbe se raccordant tangentiellement à la face d'attaque ou de fuite qu'elle prolonge. Un chanfrein est caractérisé par une hauteur et une largeur égale respectivement à la distance radiale et à la distance selon une direction perpendiculaire aux faces d'attaque ou de fuite entre le point commun entre la face d'attaque ou de fuite prolongée par le chanfrein et le bord d'attaque ou de fuite délimitant circonférentiellement la découpure.
- [0021] Le pneumatique selon l'invention présente une forme sensiblement torique autour d'un axe de révolution sensiblement confondu avec l'axe de rotation du pneumatique. Cet axe de révolution définit trois directions classiquement utilisées par l'homme du métier : une direction axiale, une direction circonférentielle et une direction radiale.
- [0022] Par direction axiale, on entend la direction sensiblement parallèle à l'axe de révolution du pneumatique ou de l'ensemble monté, c'est-à-dire l'axe de rotation du pneumatique ou de l'ensemble monté. L'ensemble monté comprend le pneumatique monté sur un support de montage, par exemple une jante.
- [0023] Par direction circonférentielle, on entend la direction qui est sensiblement perpen-

diculaire à la fois à la direction axiale et à un rayon du pneumatique ou de l'ensemble monté (en d'autres termes, tangente à un cercle dont le centre est sur l'axe de rotation du pneumatique ou de l'ensemble monté).

- [0024] Par direction radiale, on entend la direction selon un rayon du pneumatique ou de l'ensemble monté, c'est-à-dire une direction quelconque coupant l'axe de rotation du pneumatique ou de l'ensemble monté et sensiblement perpendiculaire à cet axe.
- [0025] Par plan médian du pneumatique (noté M), on entend le plan perpendiculaire à l'axe de rotation du pneumatique qui est situé à mi-distance axiale des deux bourrelets et passe par le milieu axial du sommet.
- [0026] Par plan circonférentiel équatorial du pneumatique, on entend, dans un plan de coupe méridien, le plan passant par l'équateur du pneumatique, perpendiculaire au plan médian et à la direction radiale. L'équateur du pneumatique est, dans un plan de coupe méridien (plan perpendiculaire à la direction circonférentielle et parallèle aux directions radiale et axiales) l'axe parallèle à l'axe de rotation du pneumatique et située à équidistance entre le point radialement le plus extérieur de la bande de roulement destiné à être au contact avec le sol et le point radialement le plus intérieur du pneumatique destiné à être en contact avec un support, par exemple une jante.
- [0027] Par plan méridien, on entend un plan parallèle à et contenant l'axe de rotation du pneumatique ou de l'ensemble monté et perpendiculaire à la direction circonférentielle.
- [0028] Par radialement intérieur, respectivement radialement extérieur, on entend plus proche de l'axe de rotation du pneumatique, respectivement plus éloigné de l'axe de rotation du pneumatique. Par axialement intérieur, respectivement axialement extérieur, on entend plus proche du plan médian du pneumatique, respectivement plus éloigné du plan médian du pneumatique.
- [0029] Par bourrelet, on entend la portion du pneumatique destiné à permettre l'accrochage du pneumatique sur un support de montage, par exemple une roue comprenant une jante. Ainsi, chaque bourrelet est notamment destiné à être au contact d'un crochet de la jante permettant son accrochage.
- [0030] Tout intervalle de valeurs désigné par l'expression "entre a et b" représente le domaine de valeurs allant de plus de a à moins de b (c'est-à-dire bornes a et b exclues) tandis que tout intervalle de valeurs désigné par l'expression "de a à b" signifie le domaine de valeurs allant de a jusqu'à b (c'est-à-dire incluant les bornes strictes a et b).
- [0031] Dans des modes de réalisation optionnels dans lesquels les incisions profondes sont relativement profondes et entraînent une baisse de la rigidité de la bande de roulement rendant l'invention encore plus avantageuse, $H_i/H_s \geq 60\%$, de préférence $H_i/H_s \geq 70\%$.
- [0032] De façon préférée et optionnelle, chaque incision profonde de la portion axialement centrale présente une profondeur allant de 5,0 mm à la hauteur de sculpture H_s , de

préférence allant de 6,0 mm à la hauteur de sculpture H_s et plus préférentiellement allant de 6,5 mm à la hauteur de sculpture H_s .

- [0033] De façon préférée et optionnelle, chaque incision profonde de la portion axialement centrale présente une largeur allant de 0,2 mm à 2,0 mm, de préférence de 0,2 mm à 1,5 mm et plus préférentiellement de 0,2 mm à 1,0 mm.
- [0034] De façon avantageuse mais optionnelle, la hauteur de sculpture va de 5,5 mm à 9,0 mm et de préférence de 8,0 mm à 9,0 mm.
- [0035] Dans certains modes de réalisation optionnels, la bande de roulement comprenant des témoins d'usure réglementaires définissant une surface d'usure réglementaire théorique parallèle à la surface de roulement du pneumatique à l'état neuf et passant par le point le plus radialement externe de chaque témoin d'usure réglementaire de la portion axialement centrale, chaque incision profonde de la portion axialement centrale présente un fond dont au moins une portion est agencée radialement à l'intérieur de la surface d'usure réglementaire théorique.
- [0036] De telles incisions profondes permettent de s'assurer que, tant que l'usure du pneumatique est en deçà d'un seuil d'usure réglementaire, les incisions seront présentes sur la surface de roulement. Ainsi, on garantit la pérennité des performances sur sol enneigé quelle que soit l'usure du pneumatique.
- [0037] De tels témoins d'usure sont imposés, par exemple par les règlements des Nations Unies R30 et R54, des Etats-Unis d'Amérique FMVSS139 ou encore de la Chine GB97743 et visent à indiquer à l'utilisateur du pneumatique un seuil d'usure réglementaire du pneumatique au-delà duquel il est risqué de rouler. Ainsi, on qualifie ces témoins d'usure de témoins d'usure réglementaires. Chaque témoin d'usure réglementaire est formé par une protubérance s'étendant radialement sur une hauteur radiale sensiblement égale à 1,6 mm.
- [0038] Dans des modes de réalisation avantageux et optionnels, $G^*_1 \leq 1,30$ MPa, de préférence $G^*_1 \leq 1,00$ MPa et plus préférentiellement $G^*_1 \leq 0,94$ MPa.
- [0039] Plus le module complexe de cisaillement dynamique G^*_1 est bas, meilleures sont les performances d'adhérence sur sol enneigé. En outre, les inventeurs ont également trouvé que plus le module complexe de cisaillement dynamique G^* est bas, meilleures sont les performances d'adhérence sur sol mouillé. Ainsi, la réduction de la valeur du module complexe de cisaillement dynamique G^*_1 permet d'améliorer simultanément les performances d'adhérence sur sol enneigé et sur sol mouillé.
- [0040] Dans ces modes de réalisation, avantageusement, $G^*_1 \geq 0,50$ MPa, de préférence $G^*_1 \geq 0,70$ MPa. On préférera avoir un G^*_1 qui n'est pas trop petit de façon à maintenir une rigidité intrinsèque du matériau élastomérique permettant d'obtenir un comportement aussi bon que possible et une usure aussi réduite que possible.
- [0041] Dans des modes de réalisation avantageux et optionnels, le matériau élastomérique

présente une température de transition vitreuse Tg_1 telle que $-35^{\circ}\text{C} \leq Tg_1 \leq -25^{\circ}\text{C}$, de préférence $-30^{\circ}\text{C} \leq Tg_1 \leq -25^{\circ}\text{C}$.

- [0042] La performance d'adhérence sur sol enneigé augmente avec la baisse de la température de transition vitreuse. La performance d'adhérence sur sol mouillé augmente avec la hausse de la température de transition vitreuse. Ainsi, il est préférable de choisir la température de transition vitreuse dans un intervalle de températures où les deux performances d'adhérence sur sol mouillé et sol enneigé sont les meilleures au vu du compromis de performances voulues par le concepteur du pneumatique. Dans tous les cas, de tels intervalles entraînent une baisse de la rigidité du matériau élastomérique que l'invention permet de compenser.
- [0043] Dans des modes de réalisation préférés et optionnels, le taux volumique moyen de pontage est supérieur ou égal à 30%, de préférence à 35%.
- [0044] Plus on augmente le taux moyen de pontage, plus on rigidifie la bande de roulement ce qui permet de compenser encore davantage la faible rigidité du matériau élastomérique.
- [0045] Dans des modes de réalisation avantageux et optionnels, le taux volumique moyen de pontage est inférieur ou égal à 50%, de préférence à 45%.
- [0046] Si le taux moyen de pontage devient trop élevé, on risque de réduire les performances du pneumatique sur sol enneigé en raison de la moindre mobilité des arêtes de l'incision profonde. Cette réduction de performance sur sol enneigé est surtout visible lorsque le pneumatique est usé.
- [0047] Dans des modes de réalisation avantageux et optionnels, chaque incision profonde de la portion axialement centrale présente un fond présentant un profil radial agencé de sorte qu'au moins des premier et deuxième points du fond sont agencés de part et d'autre d'un troisième point du fond selon la direction moyenne selon laquelle s'étend ladite incision profonde, chaque premier et deuxième point étant agencé, par rapport à la surface de roulement, à une profondeur strictement inférieure à la profondeur à laquelle est agencé le troisième point.
- [0048] Dans des variantes préférées de ces modes de réalisation, la profondeur d'au moins un, de préférence de chacun, des premier et deuxième points coïncide avec une profondeur minimale de ladite incision profonde. Toujours dans des variantes préférées, la profondeur du troisième point coïncide avec une profondeur maximale de ladite incision profonde. Enfin, toujours dans des variantes préférées, chaque premier et deuxième point coïncide avec chaque extrémité du fond de ladite incision profonde selon la direction moyenne.
- [0049] Dans des modes de réalisation avantageux et optionnels, la distance radiale de pontage entre la profondeur maximale et la profondeur minimale de chaque incision profonde de la portion axialement centrale est égale à, en moyenne, au moins 50%, de

préférence au moins 55%, plus préférentiellement au moins 60% de la profondeur maximale de ladite incision.

[0050] La distance radiale représente la hauteur de pontage et permet, avec les valeurs décrites ci-dessus, de garantir une rigidification significative de la bande de roulement.

[0051] Pour déterminer la moyenne du rapport entre la distance radiale et la profondeur minimale, on détermine la distance radiale et la profondeur minimale de chacune des incisions profondes de la portion axialement centrale de la bande de roulement et on en fait la moyenne arithmétique.

[0052] Dans des modes de réalisation avantageux et optionnels, chaque incision profonde de la portion axialement centrale s'étend selon une direction moyenne sur la surface de roulement formant, avec la direction axiale, un angle allant de 25° à 40°, de préférence de 27° à 37°.

[0053] Plus l'angle formé par la direction moyenne avec la direction axiale est petit, plus on rigidifie la bande de roulement selon la direction axiale et donc plus on améliore le comportement du pneumatique, notamment sous forte dérive. A l'inverse, plus l'angle formé par la direction général avec la direction axiale est grand, plus on rigidifie la bande de roulement selon la direction circonférentielle et donc plus on améliore les performances sur sol enneigé, notamment le freinage. Les angles des modes de réalisation décrits permettent d'obtenir un excellent compromis entre le comportement et ces autres performances.

[0054] De façon évidente pour l'homme du métier, l'angle considéré est l'angle, en valeur absolue, le plus petit des deux angles définis entre la droite de référence, ici la direction axiale du pneumatique, et la direction moyenne selon laquelle s'étend l'incision profonde sur la surface de roulement.

[0055] Dans des modes de réalisation avantageux et optionnels, la portion axialement centrale comprend au moins un pain, le ou chaque pain comprenant plusieurs incisions profondes ménagées dans ledit pain et s'étendant sensiblement parallèlement les unes aux autres selon une direction moyenne sur la surface de roulement, la distance moyenne, selon une direction perpendiculaire à la direction moyenne, entre deux incisions profondes adjacentes ménagées dans ledit pain va de 2,0 mm à 5,0 mm, de préférence de 2,0 mm à 4,0 mm et plus préférentiellement de 2,0 mm à 3,0 mm.

[0056] Ainsi, le pneumatique comprend une densité d'incisions profondes relativement élevée ce qui permet d'améliorer encore davantage les performances sur sol enneigé.

[0057] Par sensiblement parallèlement les unes aux autres, on entend que les directions moyenne de chacune des incisions profondes sont parallèles à plus ou moins 15° près. La distance moyenne est une moyenne arithmétique des distances séparant deux incisions successives selon la direction perpendiculaire à la direction moyenne.

[0058] Dans des modes de réalisation préférentiels et optionnels, le matériau élastomérique

présente une perte dynamique $\tan\delta_{MAX23}$ mesurée selon la norme ASTM D-5992-96, à une température de 23°C et à une fréquence de 10Hz, inférieure ou égale à 0,40.

- [0059] Une perte dynamique $\tan\delta_{MAX23}$ relativement basse permet de réduire la résistance au roulement du pneumatique.
- [0060] La perte dynamique $\tan\delta_{MAX23}$ est encore une autre propriété dynamique bien connue de l'homme du métier et est mesurée sur le même viscoanalyseur de type Metravib VA4000 en utilisant des éprouvettes extraites du pneumatique. L'éprouvette est de section cylindrique telle que décrite dans la norme ASTM D 5992 - 96 (version publiée en Septembre 2006, initialement approuvée en 1996) à la figure X2.1 (mode de réalisation circulaire) et présente un diamètre de 10 mm [0 à + 0.04mm] et une épaisseur de 2 mm [1.85-2.20]. On enregistre la réponse de l'éprouvette soumis à une sollicitation sinusoïdale en cisaillement simple alterné, à la fréquence de 10 Hz dans des conditions déterminées de températures (ici 23°C) selon la norme ASTM D1349-99. On effectue un balayage en amplitude de déformation de 0,1% à 100% (cycle aller), puis de 100% à 0,1% (cycle retour). La tangente de l'angle de phase D entre la force exercée sur l'échantillon et le déplacement de celui-ci traduit une perte dynamique et est égale au rapport G''/G' . On enregistre la valeur maximale $\tan\delta_{MAX}$ de la tangente de l'angle de phase D observé sur le cycle retour de déformation.
- [0061] Dans des variantes avantageuses, la bande de roulement comprend :
- une couche de roulement radialement externe portant au moins une partie de la surface de roulement et comprenant le matériau élastomérique, et
 - une couche de roulement radialement interne agencée au moins en partie radialement à l'intérieur de la couche de roulement radialement externe.
- [0062] La couche de roulement radialement interne est destinée à, avant l'atteinte d'un seuil d'usure réglementaire, porter au moins une partie de la surface de roulement. En d'autres termes, la couche de roulement radialement interne est destinée, après une usure prédéterminée du pneumatique, à porter au moins une partie de la surface de roulement et donc à être en contact avec le sol de roulage du pneumatique.
- [0063] Dans ces variantes avantageuses, la couche de roulement radialement interne comprend optionnellement un matériau élastomérique interne présentant un module complexe de cisaillement dynamique G^*_2 tel que $G^*_2 \geq G^*_1$, G^*_2 étant mesuré selon la norme ASTM D-5992-96, à une température de 60°C et à une fréquence de 10Hz sous une contrainte égale à 0,7 MPa.
- [0064] Une valeur de G^*_2 supérieure à celle de G^*_1 permet d'obtenir une couche de roulement, grâce à la couche radialement interne, améliorant le comportement du pneumatique à l'état neuf, et en tout cas tant que la couche radialement externe n'est pas complètement usée. Le module complexe de cisaillement dynamique G^*_2 est

déterminé comme décrit précédemment.

- [0065] Dans ces variantes avantageuses, on a optionnellement $G^*_2 > 1,10$, de préférence $G^*_2 \geq 1,15$. Ainsi, plus la valeur de G^*_2 est importante plus la couche radialement interne est rigide et permet d'améliorer le comportement du pneumatique, en particulier à l'état neuf et en tout cas tant que la couche radialement externe n'est pas complètement usée.
- [0066] Dans ces variantes avantageuses, le matériau élastomérique interne présente optionnellement une température de transition vitreuse Tg_2 telle que $-45^\circ\text{C} \leq Tg_2 \leq -25^\circ\text{C}$, de préférence $-40^\circ\text{C} \leq Tg_2 \leq -30^\circ\text{C}$. Ainsi, on maximise la performance d'adhérence sur sol enneigé même une fois que le pneumatique présente une usure avancée. La température de transition vitreuse Tg_2 est déterminée comme décrit précédemment.
- [0067] Dans d'autres variantes, la bande de roulement comprend :
- une couche de roulement radialement externe portant au moins une partie de la surface de roulement et comprenant le matériau élastomérique, et
 - une couche de support radialement interne agencée au moins en partie radialement à l'intérieur de la couche de roulement radialement externe.
- [0068] Dans ces autres variantes, la couche de support n'est pas destinée à porter au moins une partie de la surface de roulement tant que le seuil d'usure réglementaire n'est pas atteint. Ainsi, la couche de support, sauf à dépasser le seuil d'usure réglementaire, ne sera jamais en contact avec le sol de roulage du pneumatique.
- [0069] Dans des modes de réalisation optionnels, le taux d'entaillage volumique de la bande de roulement est supérieur ou égal à 28%, de préférence à 35%.
- [0070] La bande de roulement d'un pneumatique est d'autant plus rigide que son taux d'entaillage volumique est faible. En effet, moins la bande de roulement est entaillée moins elle est susceptible de se déformer sous l'effet des efforts, en particulier au niveau de ses découpures qui forment des zones très favorables à la déformation. Ainsi, l'invention, en rigidifiant le sommet grâce au taux moyen de pontage relativement élevé, est particulièrement avantageuse dans le cas d'une bande de roulement relativement entaillée.
- [0071] Le taux d'entaillage volumique de la bande de roulement est le rapport du volume total des découpures de la bande de roulement à l'état neuf sur le volume total de la bande de roulement à l'état neuf mais ne comprenant aucune découpure. La bande de roulement est axialement délimitée par deux plans perpendiculaires à l'axe de rotation du pneumatique et passant par les bords axiaux de la surface de roulement. Afin de mesurer un tel taux d'entaillage volumique, on pourra notamment utiliser une des méthodes décrites dans WO2021/089958.
- [0072] Optionnellement et préférentiellement, le pneumatique est pour un véhicule sé-

lectionné parmi les véhicules de tourisme, les véhicules commerciaux légers et les camping-cars et encore plus préférentiellement le pneumatique selon l'invention est pour un véhicule de tourisme.

- [0073] Un pneumatique pour véhicule de tourisme est un pneumatique tourisme ou pour voiture particulière tel que défini au sens du manuel de la norme ETRTO, 2021. Un tel pneumatique présente une section dans un plan de coupe méridien caractérisée par une hauteur de section H et une largeur de section nominale SW au sens du manuel de la norme ETRTO, 2021. De façon plus préférée et optionnelle, les pneumatiques pour véhicule de tourisme auxquels on appliquera avantageusement l'invention sont tels que le rapport H/SW, exprimé en pourcentage, est au plus égal à 90, de préférence au plus égal à 80 et plus préférentiellement au plus égal à 70 et est au moins égal à 20, de préférence au moins égal à 30, et la largeur de section nominale SW est au moins égale à 115 mm, de préférence au moins égale à 155 mm et plus préférentiellement au moins égale à 175 mm et au plus égal à 385 mm, de préférence au plus égal à 315 mm, plus préférentiellement au plus égal à 285 mm. En outre le diamètre au crochet D, définissant le diamètre de la jante de montage du pneumatique, est au moins égal à 12 pouces, de préférence au moins égal à 16 pouces et au plus égal à 24 pouces, de préférence au plus égal à 21 pouces. La largeur de section nominale SW, le rapport d'aspect nominal H/SW ainsi que le diamètre au crochet D sont ceux du marquage de la dimension inscrite sur le flanc du pneumatique et conformes au manuel de la norme ETRTO 2021.
- [0074] Un pneumatique pour véhicule commercial léger ou camping-car est tel que défini au sens du manuel de la norme ETRTO dans les sections 10 à 12 de la partie relative aux pneumatiques pour véhicules commerciaux.
- [0075] De préférence et avantageusement, le pneumatique porte un marquage M+S et/ou 3PMSF. Un tel marquage est généralement apposé sur au moins un des flancs du pneumatique. Les pneumatiques dits « hiver » sont notamment identifiés par un marquage M+S (M+S étant l'acronyme pour « Mud + Snow ») et/ou 3PMSF (3PMSF étant l'acronyme pour « 3 Peak Mountain Snow Flake »). Les pneumatiques dits « 4 saisons » ou « toutes saisons », en raison de leurs performances sur neige présentent également les marquages M+S et/ou 3PMSF. Au contraire, un pneumatique dit « été » ne comporte pas de marquage M+S, ni de marquage 3PMSF.
- [0076] Dans des modes de réalisation avantageux et optionnels, la bande de roulement comprend des première et deuxième portions axialement latérales agencées axialement à l'extérieur de la portion axialement centrale et de part et d'autre de la portion axialement centrale par rapport au plan médian, chaque première et deuxième portion axialement latérale comprenant des incisions s'étendant selon une direction moyenne sur la surface de roulement formant, avec la direction axiale, un angle inférieur ou égal

à 45°, de préférence inférieur ou égal à 30° et plus préférentiellement inférieur ou égal à 15°.

[0077] Chaque première et deuxième portion axialement latérale présente une épaisseur moindre de matériaux que la portion axialement centrale, notamment en raison de la courbure méridienne de la surface de roulement. Ainsi, l'impact du matériau élastomérique de chaque première et deuxième portion axialement latérale sur le comportement du pneumatique est moindre que celui de la portion axialement centrale. On peut ainsi utiliser des incisions dont l'orientation n'a pas d'influence sur le comportement ou les performances sur sol enneigé. Ici, on préférera de tels angles qui permettent de réduire le bruit généré par la bande de roulement.

[0078] Dans des variantes préférées, la bande de roulement comprend des premières et deuxièmes découpures principales latérales, chaque première et deuxième découpe principale latérale s'étendant :

axialement depuis une extrémité axialement extérieure de chaque première et deuxième découpe principale latérale jusqu'à une extrémité axialement intérieure de chaque première et deuxième découpe principale latérale, l'extrémité axialement extérieure de chaque première découpe principale latérale étant agencée d'un côté du plan médian du pneumatique, l'extrémité axialement extérieure de chaque deuxième découpe principale latérale étant agencée de l'autre côté du plan médian du pneumatique,

circonférentiellement depuis un azimuth circonférentiellement premier de l'extrémité axialement intérieure jusqu'à un azimuth circonférentiellement second de l'extrémité axialement extérieure, l'azimut circonférentiellement premier entrant dans l'aire de contact avec le sol de roulage du pneumatique avant l'azimut circonférentiellement second lorsque le pneumatique est monté sur un véhicule se déplaçant en marche avant,

chaque première et deuxième découpe principale latérale s'étend axialement depuis chaque extrémité axialement extérieure jusqu'à chaque extrémité axialement intérieure sur au moins 30% de la largeur axiale de la surface de roulement,

la bande de roulement comprenant des premiers et deuxièmes ensembles d'au moins un pain, chaque premier et deuxième ensemble de pains étant délimité circonférentiellement au moins en partie par un couple respectivement de premières et deuxièmes découpures principales latérales circonférentiellement successives, les incisions profondes étant ménagées dans la partie de chaque premier et deuxième ensemble s'étendant dans la portion axialement centrale.

[0079] Dans des variantes préférées, chaque première et deuxième découpe principale latérale s'étend axialement depuis l'extrémité axialement extérieure jusqu'à l'extrémité axialement intérieure selon une direction moyenne formant, avec la direction circonfé-

rentielle, un angle moyen allant de 40° à 70° .

[0080] De façon préférée et optionnelle, chaque première et deuxième découpe principale latérale présente une largeur allant de 2,0 à 15,0 mm, de préférence de 5,0 à 12,0 mm.

[0081] De façon préférée et optionnelle:

- chaque première et deuxième découpe principale latérale présente une profondeur supérieure ou égale à 75% et plus préférentiellement à 90% de la hauteur de sculpture H_s , et/ou

- chaque première et deuxième découpe principale latérale présente une profondeur allant de 5,0 mm à la hauteur de sculpture H_s , de préférence allant de 6,0 mm à la hauteur de sculpture H_s et plus préférentiellement allant de 6,5 mm à la hauteur de sculpture H_s .

[0082] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif et faite en se référant aux dessins dans lesquels:

- la [Fig.1] est une vue, dans un plan de coupe méridien, d'un pneumatique selon l'invention,

- la [Fig.2] est une vue de dessus de la bande de roulement du pneumatique de la [Fig.1],

- la [Fig.3] est une vue de détails d'un ensemble de pains de la bande de roulement du pneumatique de la [Fig.1],

- les figures 4 et 5 sont des vues en perspective d'une incision profonde de la bande de roulement de la [Fig.1], et

- la [Fig.6] est une vue en perspective d'un volume théorique d'une incision profonde théorique correspondant à l'incision profonde des figures 4 et 5 et dont la profondeur est constante et égale à la profondeur maximale de l'incision profonde des figures 4 et 5.

[0083] Sur les figures, on a représenté un repère X, Y, Z correspondant aux directions habituelles respectivement axiale (Y), radiale (Z) et circonférentielle (X) d'un pneumatique.

[0084] En référence aux figures 1 et 2, le pneumatique conforme à l'invention est désigné par la référence générale 10. Le pneumatique 10 présente une forme sensiblement torique autour d'un axe de révolution sensiblement parallèle à la direction axiale Y. Le pneumatique 10 est destiné à un véhicule de tourisme et présente des dimensions 205/55R16. Le pneumatique 10 est un pneumatique hiver portant un marquage M+S et 3PMSF. Le pneumatique 10 est représenté à l'état neuf, c'est-à-dire n'ayant pas encore roulé. Le pneumatique 10 présente un sens de rotation R indiquant le sens dans lequel, une fois monté sur le véhicule, le pneumatique 10 doit tourner lorsque le véhicule se déplace en marche avant.

- [0085] Le pneumatique 10 comprend une bande de roulement 14 destinée à entrer en contact avec un sol lors du roulage. Le pneumatique 10 comprend par ailleurs une structure conventionnelle, telle que par exemple décrite dans les demandes WO2021250331, WO2022074341 ou WO2022069819.
- [0086] La bande de roulement 14 comprend une surface de roulement 16 par l'intermédiaire de laquelle la bande de roulement 14 est destinée à entrer en contact avec le sol lors du roulage du pneumatique 10 sur le sol. La surface de roulement 16 est délimitée axialement par des premier et deuxième bords axiaux 18, 20.
- [0087] La bande de roulement 14 comprend une portion axialement centrale P0 et des première et deuxième portions axialement latérales P1, P2 agencées axialement à l'extérieur de la portion axialement centrale P0 de part et d'autre axialement de la portion axialement centrale P0 par rapport au plan médian M du pneumatique 10. La portion axialement centrale P0 présente une largeur axiale L0 égale à 80% de la largeur axiale L de la surface de roulement 16 et est centrée sur le plan médian M du pneumatique 10. Chaque première et deuxième portions axialement latérales P1, P2 présente respectivement une largeur axiale L1, L2 égale à 10% de la largeur axiale L de la surface de roulement 16.
- [0088] En référence à la [Fig.1], la bande de roulement 14 comprend une couche de roulement radialement externe 141 portant la surface de roulement 16 du pneumatique à l'état neuf et une couche de roulement radialement interne 142 agencée au moins en partie radialement à l'intérieur de la couche de roulement radialement externe 141. La couche de roulement radialement externe 141 comprend un matériau élastomérique M1. La couche de roulement radialement interne 142 comprend un matériau élastomérique interne M2. La couche radialement externe 141 et la couche de roulement radialement interne 142 sont séparées par une interface 143 représentée par une ligne en tirets sur la [Fig.1]. Chaque portion axialement centrale P0 et chaque première et deuxième portions axialement latérales P1, P2 comprend la couche de roulement radialement externe 141 et donc le matériau élastomérique M1. Chaque portion axialement centrale P0 et chaque première et deuxième portions axialement latérales P1, P2 comprend également la couche de roulement radialement interne 142 et donc le matériau élastomérique M2.
- [0089] La bande de roulement 14 comprend des témoins d'usure réglementaires 12 définissant une surface d'usure réglementaire théorique 121 parallèle à la surface de roulement 16 du pneumatique 10 à l'état neuf et passant par le point le plus radialement externe de chaque témoin d'usure réglementaire de la bande de roulement 14. La surface d'usure réglementaire théorique 121 est représentée en pointillés sur la [Fig.1].
- [0090] Le matériau élastomérique M1 présente un module complexe de cisaillement

dynamique G^*_1 mesuré selon la norme ASTM D-5992-96, à une température de 60°C et à une fréquence de 10Hz sous une contrainte égale à 0,7 MPa tel que $G^*_1 \leq 1,50$ MPa, de préférence $G^*_1 \leq 1,30$ MPa, plus préférentiellement $G^*_1 \leq 1,00$ MPa et encore plus préférentiellement $G^*_1 \leq 0,94$ MPa. Ici, $G^*_1 = 0,90$ MPa. Le matériau élastomérique M1 présente une température de transition vitreuse Tg_1 telle que $Tg_1 \leq -23^\circ\text{C}$, de préférence $-35^\circ\text{C} \leq Tg_1 \leq -25^\circ\text{C}$ et plus préférentiellement $-30^\circ\text{C} \leq Tg_1 \leq -25^\circ\text{C}$ et ici $Tg_1 = -27^\circ\text{C}$. Le matériau élastomérique M1 présente une perte dynamique $\tan\delta_{MAX23}$ mesurée selon la norme ASTM D-5992-96, à une température de 23°C et à une fréquence de 10Hz inférieure ou égale à 0,40 et ici égale à 0,38. Le matériau élastomérique M1 pourra être conçu à partir des matériaux élastomériques décrits notamment dans WO 2021/005295.

[0091] Le matériau élastomérique interne M2 présente un module complexe de cisaillement dynamique G^*_2 mesuré selon la norme ASTM D-5992-96, à une température de 60°C et à une fréquence de 10Hz sous une contrainte égale à 0,7 MPa tel que $G^*_2 \geq G^*_1$ et tel que $G^*_2 > 1,10$, de préférence $G^*_2 \geq 1,15$. Ici, $G^*_2 = 1,15$ MPa. Le matériau élastomérique interne M2 présente une température de transition vitreuse Tg_2 telle que $-45^\circ\text{C} \leq Tg_2 \leq -25^\circ\text{C}$, de préférence $-40^\circ\text{C} \leq Tg_2 \leq -30^\circ\text{C}$ et ici $Tg_2 = -35^\circ\text{C}$. Le matériau élastomérique M2 pourra être conçu à partir des matériaux élastomériques décrits notamment dans WO2020/099789.

[0092] En référence aux figures 1, 2 et 3, la bande de roulement 14 comprend des premières et deuxième découpures principales latérales 22, 24. La bande de roulement 14 comprend également des premiers et deuxième ensembles 32, 34 de plusieurs pains 36, 38. La portion axialement centrale P0 comprend des incisions 40 ménagées dans la portion axialement centrale et ici dans des pains 36, 38 de la partie de chaque premier et deuxième ensemble 32, 34 s'étendant dans la portion axialement centrale P0. La portion axialement centrale P0 comprend également des incisions 42 séparant chaque pain 36, 38 du ou des pains adjacents du même ensemble 32, 34. La bande de roulement 14, ici chaque première et deuxième portions axialement latérale P1, P2 et plus précisément la partie de chaque premier et deuxième ensemble 32, 34 s'étendant dans chaque première et deuxième portions axialement latérale P1, P2 comprend également des incisions 44.

[0093] Chaque première découpe principale latérale 22 s'étend axialement depuis une extrémité axialement extérieure 22A jusqu'à une extrémité axialement intérieure 22B. L'extrémité axialement extérieure 22A est agencée d'un premier côté du plan médian M. De façon analogue, chaque deuxième découpe principale latérale 24 s'étend axialement depuis une extrémité axialement extérieure 24A jusqu'à une extrémité axialement intérieure 24B. L'extrémité axialement extérieure 24A est agencée du deuxième côté du plan médian M, c'est-à-dire de l'autre côté que le côté où est agencé

l'extrémité axialement extérieure 22A.

- [0094] Chaque première et deuxième découpe principale latérale 22, 24 s'étend axialement depuis l'extrémité axialement extérieure 22A, 24A jusqu'à l'extrémité axialement intérieure 22B, 24B selon une direction moyenne formant, avec la direction circonférentielle X, un angle moyen allant de 40° à 70° et ici égal en moyenne à 45°..
- [0095] Chaque premier ensemble 32 est délimité circonférentiellement au moins en partie par un couple de premières découpures principales latérales 22 circonférentiellement successives. Chaque deuxième ensemble 34 est délimité circonférentiellement au moins en partie par un couple de deuxièmes découpures principales latérales 24 circonférentiellement successives.
- [0096] Chaque première découpe principale latérale 22 s'étend circonférentiellement depuis un azimut circonférentiellement premier AZ1 de l'extrémité axialement intérieure 22B jusqu'à un azimut circonférentiellement second AZ2 de l'extrémité axialement extérieure 22A. L'azimut circonférentiellement premier AZ1 entre dans l'aire de contact avec le sol de roulage du pneumatique 10 avant l'azimut circonférentiellement second AZ2 lorsque le pneumatique 10 est monté sur un véhicule se déplaçant en marche avant et en respectant son sens de rotation R. De façon analogue, chaque deuxième découpe principale 24 latérale s'étend circonférentiellement depuis un azimut circonférentiellement premier AZ1' de l'extrémité axialement intérieure 24B jusqu'à un azimut circonférentiellement second AZ2' de l'extrémité axialement extérieure 24A. L'azimut circonférentiellement premier AZ1' entre dans l'aire de contact avec le sol de roulage du pneumatique 10 avant l'azimut circonférentiellement second AZ2' lorsque le pneumatique 10 est monté sur un véhicule se déplaçant en marche avant et en respectant son sens de rotation R.
- [0097] Chaque première et deuxième découpe principale latérale 22, 24 s'étend axialement selon une direction principale formant, avec la direction circonférentielle X, un angle décroissant lorsqu'on se déplace depuis chaque extrémité axialement extérieure 22A, 24A vers chaque extrémité axialement intérieure 22B, 24B sur au moins 75%, ici sur 100%, de la longueur curviligne de chaque première et deuxième découpe principale latérale 22, 24.
- [0098] Chaque première et deuxième découpe principale latérale 22, 24 présente une largeur allant de 2,0 à 15,0 mm, de préférence de 5,0 à 12,0 mm. Chaque première et deuxième découpe principale latérale 22, 24 présente une profondeur supérieure ou égale à 75% et plus préférentiellement à 90% de la hauteur de sculpture Hs et allant de 5,0 mm à la hauteur de sculpture Hs, de préférence allant de 6,0 mm à la hauteur de sculpture Hs et plus préférentiellement allant de 6,5 mm à la hauteur de sculpture Hs. La hauteur de sculpture Hs va de 5,5 mm à 9,0 mm et de préférence de 8,0 mm à 9,0 mm. Ici, la hauteur de sculpture Hs et la profondeur de chaque première et deuxième

découpe principale latérale 22, 24 est sensiblement égale à 8,8 mm. Ainsi chaque première et deuxième découpe principale latérale 22, 24 constitue la découpe la plus profonde de la portion axialement centrale P0.

- [0099] Chaque incision 40 présente une profondeur H_i telle que $H_i/H_s \geq 50\%$, de préférence $H_i/H_s \geq 60\%$ et plus préférentiellement $H_i/H_s \geq 70\%$. Pour cette raison, chaque incision 40 est qualifiée d'incision profonde. Chaque incision profonde 40 de la portion axialement centrale P0 présente une profondeur allant de 5,0 mm à la hauteur de sculpture H_s , de préférence allant de 6,0 mm à la hauteur de sculpture H_s et plus préférentiellement allant de 6,5 mm à la hauteur de sculpture H_s . Ici, chaque incision profonde 40 présente une profondeur variant de 6,5 mm à 7,5 mm selon qu'elle est agencée proche ou éloignée du plan médian M. Chaque incision profonde 40 de la portion axialement centrale P0 présente une largeur allant de 0,2 mm à 2,0 mm, de préférence de 0,2 mm à 1,5 mm et plus préférentiellement de 0,2 mm à 1,0 mm et ici égale à 0,4 mm. Chaque incision profonde 40 de la portion axialement centrale P0 s'étend selon une direction moyenne D_i sur la surface de roulement 16 formant, avec la direction axiale Y, un angle allant de 25° à 40° , de préférence de 27° à 37° et ici égal à 35° .
- [0100] Chaque incision 42 est sensiblement parallèle à chaque incision 40 qui lui est adjacente et s'étend donc selon une direction moyenne sur la surface de roulement 16 formant, avec la direction axiale Y, un angle allant de 25° à 40° , de préférence de 27° à 37° et ici égal à 35° . Chaque incision 42 présente une largeur strictement supérieure à la largeur de chaque incision 40, allant de 1,0 mm à 3,0 mm et ici égale à 1,7 mm. Chaque incision 42 présente une profondeur strictement inférieure à la profondeur de chaque incision 40. La profondeur de chaque incision 42 est strictement inférieure à 50% de la hauteur de sculpture H_s et ici va de 1,0 mm à 4,0 mm et ici égale à 3,0 mm.
- [0101] Chaque incision 44 s'étend selon une direction moyenne sur la surface de roulement 16 formant, avec la direction axiale Y, un angle inférieur ou égal à 45° , de préférence inférieur ou égal à 30° et plus préférentiellement inférieur ou égal à 15° . Chaque incision 44 présente une largeur allant de 0,2 mm à 2,0 mm, de préférence de 0,2 mm à 1,5 mm et plus préférentiellement de 0,2 mm à 1,0 mm.
- [0102] En référence à la [Fig.3], les incisions profondes 40 ménagées dans chaque pain 36, 38 s'étendent sensiblement parallèlement les unes aux autres selon la direction moyenne D_i sur la surface de roulement 16. La distance moyenne D_m , selon une direction D_p perpendiculaire à la direction moyenne D_i , entre deux incisions profondes 40 adjacentes ménagées dans ledit pain 36, 38 va de 2,0 mm à 5,0 mm, de préférence de 2,0 mm à 4,0 mm et plus préférentiellement de 2,0 mm à 3,0 mm. Sur la [Fig.3], on a mesuré plusieurs distances D_1 , D_2 , D_3 , D_4 entre les incisions profondes 40 d'un deuxième élément 34 et dont la moyenne D_m est égale à 2,7 mm.

- [0103] En raison du nombre important des découpures décrites précédemment, le taux d'entaillement volumique de la bande de roulement 14 est supérieur ou égal à 28%, de préférence à 35%.
- [0104] On va maintenant décrire plus en détails chaque incision profonde 40 en référence aux figures 4, 5 et 6. Chaque incision profonde 40 de la portion axialement centrale P0 s'étend selon une direction générale Dg sur la surface de roulement 16. Chaque incision profonde 40 présente une profondeur variable le long de la direction générale Dg de ladite incision profonde 40. Chaque incision profonde 40 de la portion axialement centrale P0 présente un fond 400 présentant un profil radial agencé de sorte qu'au moins des premier et deuxième points 401, 402 du fond 400 sont agencés de part et d'autre d'un troisième point 403 du fond 400 selon la direction moyenne Di selon laquelle s'étend ladite incision profonde 40. Chaque premier et deuxième point 401, 402 est agencé, par rapport à la surface de roulement 16, à une profondeur Psup strictement inférieure à la profondeur Hi à laquelle est agencé le troisième point 403. Ici, la profondeur de chacun des premier et deuxième points 401, 402 coïncide avec une profondeur minimale Psup de ladite incision profonde 40. La profondeur du troisième point 403 coïncide avec une profondeur maximale Hi de ladite incision profonde 40. Chaque premier et deuxième point 401, 402 coïncide avec chaque extrémité E1, E2 du fond 400 de ladite incision profonde selon la direction moyenne Di.
- [0105] Comme cela est visible sur la [Fig.1], chaque fond 400 présente au moins une portion agencée radialement à l'intérieur de la courbe d'usure réglementaire théorique 121.
- [0106] La distance radiale de pontage Dr entre la profondeur maximale Hi et la profondeur minimale Psup de chaque incision profonde 40 de la portion axialement centrale P0 est égale à, en moyenne, au moins 50%, de préférence au moins 55% et plus préférentiellement au moins 60% de la profondeur maximale Hi de ladite incision 40. Pour l'incision profonde 40 représentée sur les figures 4 à 6 (et sur lesquelles les proportions ne sont pas respectées), $H_i = 7,5$ mm, $P_{sup} = 2,5$ mm de sorte que $Dr = 5,0$ mm et $Dr/H_i = 67\%$. En moyenne, Dr/H_i est ici égale à 64%.
- [0107] L'incision profonde 40 crée un volume vide Vi dans la partie axialement centrale P0. Ce volume vide Vi est délimité radialement par la surface de roulement 16 et par le fond 400. Ce volume vide Vi est délimité radialement par les faces principales de la partie axialement centrale dans laquelle est ménagée l'incision profonde 40. On a représenté ce volume vide Vi sur la [Fig.5], ici égal à 19,7 mm³.
- [0108] Sur la [Fig.6], on a représenté un volume Vt qui est le volume théorique de l'incision profonde théorique dont la profondeur est constante et égale à la profondeur maximale de l'incision profonde 40, c'est-à-dire Hi. Ici, $V_t = 33,9$ mm³.
- [0109] La valeur de $1 - V_i/V_t$ est égal à un taux volumique individuel de pontage de l'incision

profonde 40. Pour l'incision profonde précédemment décrite, $1-V_i/V_t=42\%$. En faisant la moyenne des taux volumiques individuels de pontage de l'ensemble des incisions profondes 40 de la portion axialement centrale P0, on obtient un taux volumique moyen de pontage. L'ensemble des incisions profondes 40 de la portion axialement centrale P0 présente un taux moyen de pontage supérieur ou égal à 25%, de préférence supérieur ou égal à 30% et plus préférentiellement à 35%. Le taux volumique moyen de pontage est inférieur ou égal à 50%, de préférence à 45%. Ici, Le taux volumique moyen de pontage est égal à 42%.

[0110] TESTS COMPARATIFS

[0111] On a comparé des pneumatiques témoins T0, T1, T2, T3, T4 et le pneumatique 10 selon le premier mode de réalisation.

[0112] Le pneumatique T0 est un pneumatique commercialisé sous la marque MICHELINTM dans la gamme ALPIN 6TM. Le pneumatique T0 comprend une couche de roulement radialement externe comprenant un matériau élastomérique présentant un module complexe de cisaillement dynamique G^* mesuré selon la norme ASTM D-5992-96, à une température de 60°C et à une fréquence de 10Hz sous une contrainte égale à 0,7 MPa égal à 0,95 MPa et une température de transition vitreuse $T_g = -22^\circ\text{C}$. Le pneumatique T0 comprend une couche de roulement radialement interne comprenant un matériau élastomérique présentant un module complexe de cisaillement dynamique G^* mesuré selon la norme ASTM D-5992-96, à une température de 60°C et à une fréquence de 10Hz sous une contrainte égale à 0,7 MPa égal à 1,10 MPa et température de transition vitreuse $T_g = -30^\circ\text{C}$.

[0113] Le pneumatique T1 est identique au pneumatique T0 à l'exception du matériau élastomérique de la couche de roulement radialement interne 142 qui est le matériau élastomérique M2 du pneumatique 10.

[0114] Le pneumatique T2 est identique au pneumatique T0 à l'exception du matériau élastomérique de la couche de roulement radialement externe 141 qui est la matériau élastomérique M1 du pneumatique 10.

[0115] Le pneumatique T3 est identique au pneumatique T0 à l'exception de la sculpture qui est celle décrit précédemment, notamment avec des incisions profondes dans la portion axialement centrale présentant un taux volumique moyen de pontage supérieur ou égal à 25%.

[0116] Le pneumatique T4 est identique au pneumatique 10 à l'exception de la sculpture qui est celle du pneumatique T0, notamment avec des incisions profondes dans la portion axialement centrale présente un taux volumique moyen de pontage inférieur à 15%.

[0117] On a fait procéder à différents tests dont les résultats sont rassemblés dans le tableau 1 ci-dessous et dans lequel, sauf indication contraire, une valeur supérieure à 100 indique une amélioration de la performance et une valeur inférieure à 100 indique une

détérioration de la performance.

[0118] On a procédé à plusieurs tests sur sol enneigé :

- un test de freinage durant lequel on a procédé à un freinage en ligne droit d'un véhicule roulant à 50 km/h et on a mesuré la distance nécessaire à l'atteinte de la vitesse de 5 km/h avec un système ABS,
- un test de motricité durant lequel on a mesuré l'accélération d'un véhicule entre 10% et 60% de glissement sans dispositif d'aide à la conduite, notamment sans dispositif anti-patinage,
- un test d'adhérence transversale subjectif prenant en compte la moyenne du temps mis pour parcourir trois tours d'un circuit enneigé et le comportement du véhicule.

[0119] On a fait la moyenne de ces différents tests sur sol enneigé sous l'appellation TEST1 dans le tableau 1.

[0120] On a également à un test de comportement sur machine pour mesurer la rigidité de dérive. Dans le tableau 1, ce test est appelé TEST 2. On fait rouler le pneumatique à une vitesse constante, ici 80 km/h, sur une machine automatique appropriée (machine type "sol-plan" commercialisée par la société MTS), en faisant varier la charge notée "Z", sous un angle de dérive de 1 degré, et on a mesuré de manière continue la poussée de dérive et identifié la rigidité de dérive notée « D » (corrigée de la poussée à dérive nulle), en enregistrant à l'aide de capteurs l'effort transversal sur la roue en fonction de cette charge Z. On obtient alors, pour une charge choisie, notamment en fonction de l'indice de charge du pneumatique, une valeur de rigidité de dérive.

[0121] On a procédé à un test d'usure sur route au cours duquel on mesure la distance parcourue par un pneumatique pour arriver à une usure correspondant au témoin d'usure réglementaire. Dans le tableau 1, ce test est appelé TEST 3.

[0122] On a procédé à un test de freinage analogue au test sur sol enneigé du TEST 1 des pneumatiques dans un état usé. Dans le tableau 1, ce test est appelé TEST 4. Pour ce faire, on a raboté chaque pneumatique jusqu'à atteindre une hauteur de sculpture égale à 2 mm pour simuler une utilisation de plus de la moitié de son potentiel d'usure.

[0123] [Tableaux1]

	T0	T1	T2	T3	T4	10
TEST 1	100	100	104	100	104	104
TEST 2	100	100	95	105	95	100
TEST 3	100	100	90	110	90	100

[0124] Tableau 1

[0125] Le tableau 1 montre que l'utilisation d'une couche de roulement radialement externe présentant un module complexe de cisaillement dynamique G^* plus bas que celui du

pneumatique T0 permet d'améliorer significativement les performances sur sol enneigé du TEST 1. Néanmoins, cette amélioration visible sur les pneumatiques T2, T4 et 10 se fait au détriment de la performance de comportement du pneumatique au TEST 2 dont la baisse est compensée par l'utilisation d'une sculpture plus rigide dont les incisions profondes de la portion axialement centrale présentent un taux volumique moyen de pontage relativement élevé comme le montre la comparaison entre d'une part les pneumatiques T2, T3, T4 et, d'autre part, le pneumatique 10 selon l'invention.

[0126] On notera aussi que l'utilisation d'une couche de roulement radialement interne présentant une température de transition vitreuse relativement basse permet d'améliorer les performances sur sol enneigé des pneumatiques T1, T4 et 10 au TEST 4.

[0127] L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation précédemment décrits.

Revendications

[Revendication 1]

Pneumatique (10) comprenant une bande de roulement (14) portant une surface de roulement (16), la bande de roulement (14) comprenant une couche de roulement (141) portant au moins une partie de la surface de roulement (16), la bande de roulement (14) comprenant une portion axialement centrale (P0) s'étendant sur une largeur axiale (L0) égale à 80% de la largeur axiale (L) de la surface de roulement (16) et axialement centrée sur le plan médian (M) du pneumatique, la portion axialement centrale (P0) de la bande de roulement (14) comprenant au moins une découpe (22, 24) la plus profonde de la portion axialement centrale (P0) présentant une profondeur H_s , la portion axialement centrale (P0) de la bande de roulement (14) comprenant des incisions (40) dites profondes, chaque incision profonde (40) de la portion axialement centrale (P0) présentant une profondeur H_i telle que $H_i/H_s \geq 50\%$, la portion axialement centrale (P0) de la couche de roulement (141) comprenant un matériau élastomérique (M1), caractérisé en ce que :

- le matériau élastomérique (M1) présente un module complexe de cisaillement dynamique G^*_1 mesuré selon la norme ASTM D-5992-96, à une température de 60°C et à une fréquence de 10Hz sous une contrainte égale à 0,7 MPa tel que $G^*_1 \leq 1,50$ MPa,
- le matériau élastomérique (M1) présente une température de transition vitreuse Tg_1 telle que $Tg_1 \leq -23^\circ\text{C}$, et
- chaque incision profonde (40) de la portion axialement centrale (P0) s'étendant selon une direction générale (Dg) sur la surface de roulement (16), chaque incision profonde (40) présente une profondeur variable le long de la direction générale (Dg) de ladite incision (40) de sorte que l'ensemble des incisions profondes (40) de la portion axialement centrale (P0) présente un taux volumique moyen de pontage supérieur ou égal à 25%.

[Revendication 2]

Pneumatique (10) selon la revendication précédente, dans lequel la bande de roulement (14) comprenant des témoins d'usure réglementaires (12) définissant une surface d'usure réglementaire théorique (121) parallèle à la surface de roulement (16) du pneumatique (10) à l'état neuf et passant par le point le plus radialement externe de chaque témoin d'usure réglementaire (12) de la portion axialement centrale (P0), chaque incision profonde (40) de la portion axialement centrale

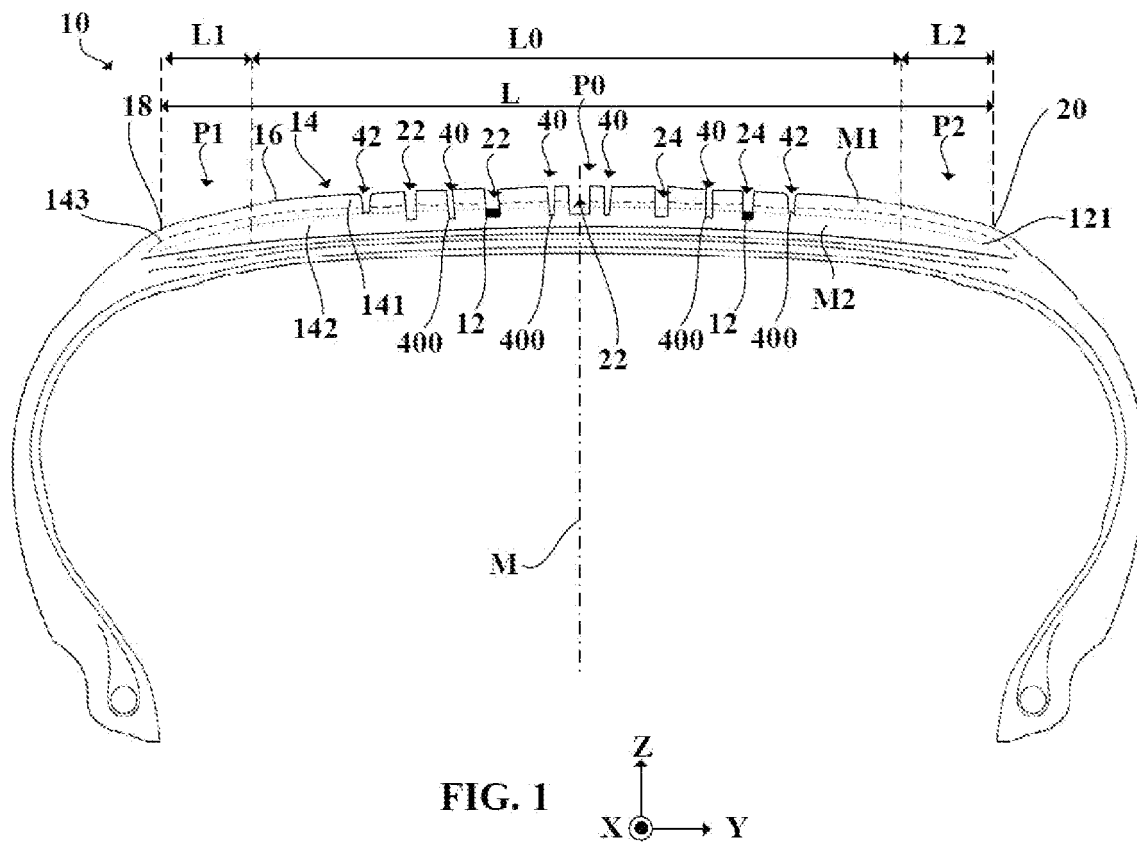
(P0) présente un fond (400) dont au moins une portion est agencée radialement à l'intérieur de la surface d'usure réglementaire théorique (121).

- [Revendication 3] Pneumatique (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel $G^*_1 \leq 1,30 \text{ MPa}$, de préférence $G^*_1 \leq 1,00 \text{ MPa}$ et plus préférentiellement $G^*_1 \leq 0,94 \text{ MPa}$.
- [Revendication 4] Pneumatique (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le matériau élastomérique (M1) présente une température de transition vitreuse Tg_1 telle que $-35^\circ\text{C} \leq Tg_1 \leq -25^\circ\text{C}$, de préférence $-30^\circ\text{C} \leq Tg_1 \leq -25^\circ\text{C}$.
- [Revendication 5] Pneumatique (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le taux volumique moyen de pontage est supérieur ou égal à 30%, de préférence à 35%.
- [Revendication 6] Pneumatique (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le taux volumique moyen de pontage est inférieur ou égal à 50%, de préférence à 45%.
- [Revendication 7] Pneumatique (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque incision profonde (40) de la portion axialement centrale (P0) présente un fond (400) présentant un profil radial agencé de sorte qu'au moins des premier et deuxième points (401, 402) du fond sont agencés de part et d'autre d'un troisième point (403) du fond selon la direction moyenne (Di) selon laquelle s'étend ladite incision profonde (40), chaque premier et deuxième point (401, 402) étant agencé, par rapport à la surface de roulement (16), à une profondeur strictement inférieure (P_{sup}) à la profondeur (Hi) à laquelle est agencé le troisième point (403).
- [Revendication 8] Pneumatique (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la distance radiale de pontage (Dr) entre la profondeur maximale (Hi) et la profondeur minimale (P_{sup}) de chaque incision profonde (40) de la portion axialement centrale (P0) est égale à, en moyenne, au moins 50%, de préférence au moins 55%, plus préférentiellement au moins 60% de la profondeur maximale (Hi) de ladite incision (40).
- [Revendication 9] Pneumatique (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque incision profonde (40) de la portion axialement centrale (P0) s'étend selon une direction moyenne (Di) sur la surface de roulement formant, avec la direction axiale (Y), un angle allant de 25° à 40° , de préférence de 27° à 37° .

- [Revendication 10] Pneumatique (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la portion axialement centrale (P0) comprend au moins un pain (36, 38), le ou chaque pain (36, 38) comprenant plusieurs incisions profondes (40) ménagées dans ledit pain (36, 38) et s'étendant sensiblement parallèlement les unes aux autres selon une direction moyenne (Di) sur la surface de roulement (16), la distance moyenne, selon une direction perpendiculaire (Dp) à la direction moyenne (Di), entre deux incisions profondes (40) adjacentes ménagées dans ledit pain (36, 38) va de 2,0 mm à 5,0 mm, de préférence de 2,0 mm à 4,0 mm et plus préférentiellement de 2,0 mm à 3,0 mm.
- [Revendication 11] Pneumatique (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le matériau élastomérique (M1) présente une perte dynamique $\tan \delta_{MAX23}$ mesurée selon la norme ASTM D-5992-96, à une température de 23°C et à une fréquence de 10Hz, inférieure ou égale à 0,40.
- [Revendication 12] Pneumatique (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la portion axialement centrale (P0) comprend :
- une couche de roulement radialement externe (141) portant au moins une partie de la surface de roulement (16) et comprenant le matériau élastomérique (M1), et
 - une couche de roulement radialement interne (142) agencée au moins en partie radialement à l'intérieur de la couche de roulement radialement externe (141).
- [Revendication 13] Pneumatique (10) selon la revendication précédente, dans lequel la couche de roulement radialement interne (142) comprend un matériau élastomérique interne (M2) présentant un module complexe de cisaillement dynamique G^*_2 tel que $G^*_2 \geq G^*_1$, G^*_2 étant mesuré selon la norme ASTM D-5992-96, à une température de 60°C et à une fréquence de 10Hz sous une contrainte égale à 0,7 MPa.
- [Revendication 14] Pneumatique (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la bande de roulement (14) comprend des première et deuxième portions axialement latérales (P1, P2) agencées axialement à l'extérieur de la portion axialement centrale (P0) et de part et d'autre de la portion axialement centrale (P0) par rapport au plan médian (M), chaque première et deuxième portion axialement latérale (P1, P2) comprenant des incisions (44) s'étendant selon une direction moyenne sur la surface de roulement (16) formant, avec la direction axiale (Y), un angle inférieur ou égal à 45°, de préférence inférieur ou

égal à 30° et plus préférentiellement inférieur ou égal à 15° .

[Fig. 1]



[Fig. 2]

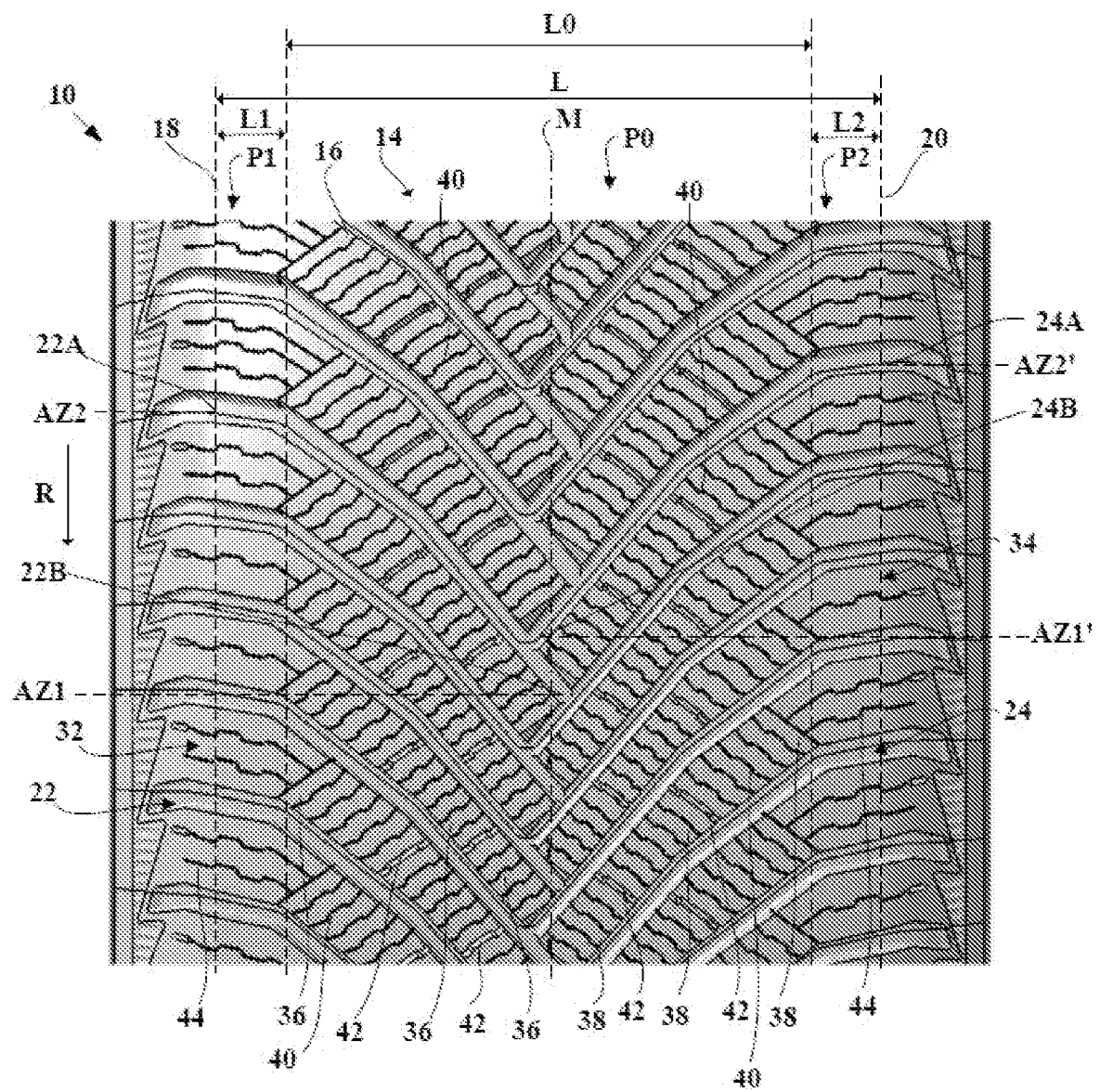
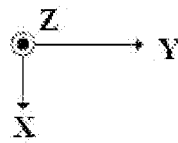
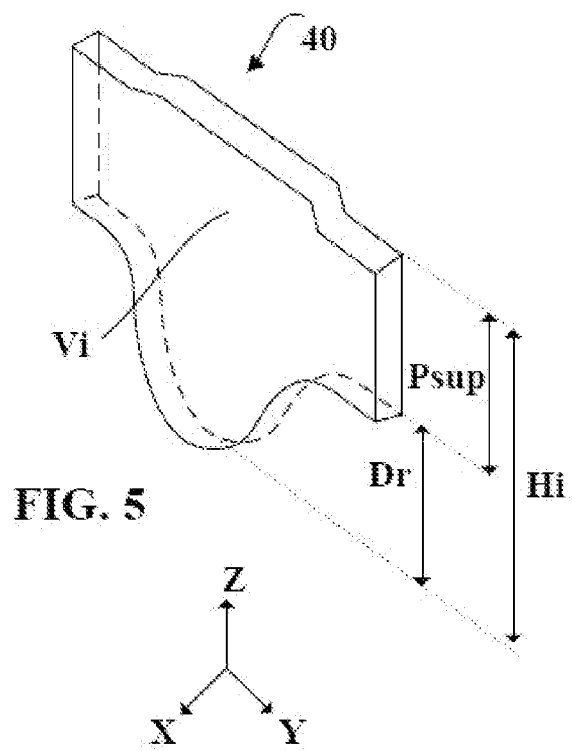


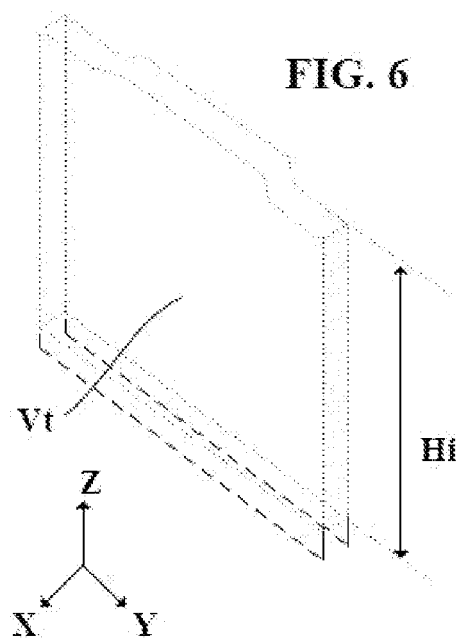
FIG. 2



[Fig. 5]



[Fig. 6]



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 921871
FR 2304724

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
Y	FR 3 099 084 A1 (MICHELIN & CIE [FR]) 29 janvier 2021 (2021-01-29) * alinéas [0096], [0101]; revendications 1-15; figures 1,15 *	1-14	B60C 11/03
Y	US 2017/361658 A1 (SANDERS EVAN [US] ET AL) 21 décembre 2017 (2017-12-21) * alinéas [0043], [0091], [0095]; revendication 1; figures 1,2; tableaux 1,2 *	1-14	
Y	JP 6 204375 B2 (BRIDGESTONE COMPANY) 27 septembre 2017 (2017-09-27) * alinéas [0010], [0042]; figures 1,2 *	1-14	
Y	EP 3 219 512 A1 (SUMITOMO RUBBER IND [JP]) 20 septembre 2017 (2017-09-20) * alinéas [0051] - [0059]; figures 1-3 *	1-14	
Y	DE 10 2010 060933 A1 (CONTINENTAL REIFEN DEUTSCHLAND [DE]) 6 juin 2012 (2012-06-06) * alinéas [0005], [0042]; revendications 1-11; figures 1,2 *	1-14	
Y	WO 2021/229160 A1 (MICHELIN & CIE [FR]) 18 novembre 2021 (2021-11-18) * revendications 1-15; figures 1-8 *	12,13	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) B60C
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
7 février 2024		Carneiro, Joaquim	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2304724 FA 921871

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **07-02-2024**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 3099084	A1	29-01-2021	CN	114174079 A	11-03-2022
			EP	4003761 A1	01-06-2022
			FR	3099084 A1	29-01-2021
			US	2022274444 A1	01-09-2022
			WO	2021019174 A1	04-02-2021

US 2017361658	A1	21-12-2017	CN	107278184 A	20-10-2017
			EP	3240697 A1	08-11-2017
			JP	6463843 B2	06-02-2019
			JP	2018505809 A	01-03-2018
			US	2017361658 A1	21-12-2017
			WO	2016109724 A1	07-07-2016

JP 6204375	B2	27-09-2017	JP	6204375 B2	27-09-2017
			JP WO	2014092078 A1	12-01-2017
			WO	2014092078 A1	19-06-2014

EP 3219512	A1	20-09-2017	CN	107199834 A	26-09-2017
			EP	3219512 A1	20-09-2017
			JP	6699270 B2	27-05-2020
			JP	2017170938 A	28-09-2017
			US	2017267029 A1	21-09-2017

DE 102010060933	A1	06-06-2012	CN	103221236 A	24-07-2013
			DE	102010060933 A1	06-06-2012
			EP	2646264 A1	09-10-2013
			WO	2012072404 A1	07-06-2012

WO 2021229160	A1	18-11-2021	CN	115551722 A	30-12-2022
			EP	4149773 A1	22-03-2023
			JP	2023525132 A	14-06-2023
			US	2023191851 A1	22-06-2023
			WO	2021229160 A1	18-11-2021
