

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 103 500

21 N° d'enregistrement national : 19 13078

51 Int Cl⁸ : D 07 B 1/06 (2019.12), D 02 G 3/48

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 22.11.19.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 28.05.21 Bulletin 21/21.

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 —
FR.

72 Inventeur(s) : CHEVALLEY MARIANNA, LAURENT
STEPHANE, BARBAT ROMAIN, GIANETTI
ALEXANDRE et RENAUX BENOIT.

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

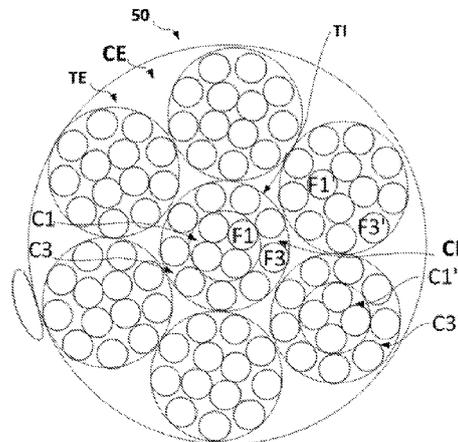
74 Mandataire(s) : MANUFACTURE FRANCAISE DES
PNEUMATIQUES MICHELIN.

54 Câble multi-torons à deux couches à énergie de rupture surfacique améliorée.

57 L'invention concerne un câble (50) multi-torons comprenant une couche interne (CI) du câble constituée de K=1 toron interne (TI) à deux couches (C1, C3) avec la couche interne (C1) constituée de Q fils métalliques internes (F1) et la couche externe (C3) constituée de N fils métalliques externes (F3) et une couche externe (CE) du câble constituée de L>1 torons externes (TE) à deux couches (C1', C3') enroulés autour de la couche interne (CI) du câble avec la couche interne (C1') constituée de Q' fils métalliques internes (F1') et la couche externe (C3') constituée de N' fils métalliques externes (F3').

Le câble (50) présente une énergie à rupture surfacique $ES \geq 3 \cdot 145 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$ avec $ES = \frac{\sum F_i}{D} \cdot x \cdot C_{frag}$ / D, avec $\sum F_i$ somme des forces à rupture pour Nc fils, somme de l'allongement total des Nc fils, C_{frag} coefficient de fragilisation du câble (50) et D diamètre du câble (50).

Figure pour l'abrégié : Fig 4



FR 3 103 500 - A1



Description

Titre de l'invention : Câble multi-torons à deux couches à énergie de rupture surfacique améliorée

- [0001] L'invention concerne des câbles et un pneumatique comprenant ces câbles.
- [0002] On connaît de l'état de la technique, notamment du document WO2016017655 un pneumatique pour véhicule de génie civil à armature de carcasse radiale comprenant une bande de roulement, deux bourrelets inextensibles, deux flancs reliant les bourrelets à la bande de roulement et une armature de sommet, disposée circonférentiellement entre l'armature de carcasse et la bande de roulement. Cette armature de sommet comprend quatre nappes renforcées par des éléments de renforts tels que des câbles métalliques, les câbles d'une nappe étant noyés dans une matrice élastomérique de la nappe.
- [0003] Cette armature de sommet comprend plusieurs nappes de travail comprenant plusieurs éléments filaires de renfort. Chaque élément filaire de renfort de travail est un câble multi-torons à deux couches présentant une couche interne du câble constituée de $K=1$ toron interne à deux couches comprenant une couche interne constituée de $Q=3$ fils métalliques internes de diamètre $d_1=0,25$ mm et une couche externe constituée de $N=8$ fils métalliques externes de diamètre $d_3=0,33$ mm enroulés autour de la couche interne ; une couche externe du câble constituée de $L=6$ torons externes à deux couches comprenant une couche interne constituée de $Q'=3$ fils métalliques internes de diamètre $d_1'=0,29$ mm et une couche externe constituée de $N'=9$ fils métalliques externes de diamètre $d_3'=0,29$ mm enroulés autour de la couche interne. Le diamètre du câble non fretté est égal à 3,72 mm pour une force à rupture de 17 572 N.
- [0004] D'une part, lors du passage du pneumatique sur des obstacles, par exemple sous la forme de cailloux, ces obstacles risquent de perforer le pneumatique jusqu'à atteindre l'armature de sommet. Ces perforations permettent l'entrée d'agents corrosifs dans l'armature de sommet du pneumatique et en réduisent la durée de vie.
- [0005] D'autre part, on a observé que les câbles des nappes sommet peuvent présenter des ruptures consécutives à des déformations et des efforts relativement importants exercés sur le câble, notamment lors du passage du pneumatique sur des obstacles.
- [0006] L'invention a pour objet un câble permettant de réduire, voire de supprimer, le nombre de rupture et le nombre de perforation.
- [0007] A cet effet l'invention a pour objet un câble multi-torons à deux couches, comprenant :
- une couche interne du câble constituée de $K=1$ toron interne à deux couches comprenant :

- une couche interne constituée de Q=2,3 ou 4 fils métalliques internes , et
- une couche externe constituée de N fils métalliques externes de diamètre d3 enroulés autour de la couche interne,
- une couche externe du câble constituée de L>1 torons externes à deux couches enroulés autour de la couche interne du câble comprenant :
 - une couche interne constituée de Q'=2, 3 ou 4 fils métalliques internes, et
 - une couche externe constituée de N' fils métalliques externes de diamètre d3' enroulés autour de la couche interne, dans lequel le câble présente une énergie à rupture surfacique $ES \geq 150 \text{ N.mm}^{-1}$ avec $ES = \sum_{i=1}^{Nc} F_{mi} \times \sum_{i=1}^{Nc} A_{ti} / Nc \times$

Cfrag / D où:

- $\sum_{i=1}^{Nc} F_{mi}$ est la somme des forces à rupture pour les Nc fils en Newton;
- Nc = Q+N+L x(Q'+N') est le nombre total de fils métalliques ;
- D est le diamètre du câble en mm ;
- $\sum_{i=1}^{Nc} A_{ti}$ est la somme de l'allongement total des Nc fils sans unité ;
- Cfrag est le coefficient de fragilisation du câble sans unité avec

$$C_{\text{frag}} = 1 - \left(\frac{\sin(\alpha_f)}{d3 \times d3'} \times \frac{\left(\sum_{i=1}^{Q'+N'} F_{mi} \right) \times \sin(\alpha t)}{N \times \text{Cste}} \right) \text{ où :}$$

d3 et d3' sont exprimés en mm,

α_f est l'angle de contact entre les fils métalliques externes du toron interne et les fils métalliques externes des torons externes exprimé en radian,

αt est l'angle d'hélice de chaque toron externe (TE) exprimé en radian ;

Cste = 1500 N.mm².

- [0008] Grâce à son énergie de rupture surfacique relativement élevée, le câble selon l'invention permet de réduire les perforations et donc d'allonger la durée de vie du pneumatique et également de réduire le nombre de rupture. En effet, les inventeurs à l'origine de l'invention ont découvert que le critère déterminant pour réduire les ruptures du câbles n'était pas uniquement la force à rupture comme cela est largement enseigné dans l'état de la technique mais l'énergie à rupture surfacique représentée dans la présente demande par un indicateur égal au produit de la force à rupture, de l'allongement à rupture et du coefficient de fragilisation du câble divisé par le diamètre du câble.
- [0009] Le coefficient de fragilisation permet de prendre en compte la perte de rendement du câble en traction dû à la fragilisation transverse dans les contacts inter-fils au niveau des fils métalliques externes de la couche interne et de la couche externe. Ce co-

efficient de fragilisation dépend du nombre de fils métalliques externes de la couche interne, de l'angle de contact entre le toron interne et le ou chaque toron externe, des diamètres d_3 et d_3' respectivement des fils métalliques externes de la couche interne et des fils métalliques externes de la couche externe, de l'angle d'hélice d'un toron externe et de la force à rupture d'un toron externe. Ainsi un câble solide aura un coefficient de fragilisation proche de 1 et un câble fragilisé aura un coefficient de fragilisation non optimal, plutôt proche de 0,5.

- [0010] En effet, les câbles de l'état de la technique présentent soit une force à rupture relativement élevée mais un coefficient de fragilisation pas optimal, soit un coefficient de fragilisation, optimal, c'est-à-dire proche de 1 mais une force à rupture relativement faible comme l'exemple 8 de WO2016017655. Dans les deux cas, les câbles de l'état de la technique présentent une énergie à rupture surfacique relativement faible. Le câble selon l'invention, du fait de son coefficient de fragilisation et de sa force à rupture relativement élevés présente un allongement à rupture relativement élevé ainsi qu'une énergie de rupture surfacique relativement élevée.
- [0011] 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 la borne « a » jusqu'à la borne « b » c'est-à-dire incluant les bornes strictes « a » et « b ».
- [0012] Par définition, le diamètre d'un toron est le diamètre du plus petit cercle dans lequel est circonscrit le toron.
- [0013] Avantageusement, le diamètre du câble est le diamètre du plus petit cercle dans lequel est circonscrit le câble sans la frette. De façon préférée, le câble présente un diamètre D tel que $D \leq 6,0$ mm, de préférence tel que $5,0 \text{ mm} \leq D \leq 5,5$ mm. Le diamètre D est mesuré sur le câble selon la norme ASTM D2969-04.
- [0014] Dans l'invention, le câble est à deux couches de torons, c'est-à-dire qu'il comprend un assemblage constitué de deux couches de torons, ni plus ni moins, c'est-à-dire que l'assemblage a deux couches de torons, pas une, pas trois, mais uniquement deux.
- [0015] Dans un mode de réalisation, le toron interne du câble est entouré d'une composition polymérique puis de la couche externe.
- [0016] Avantageusement, le toron interne est à couches cylindriques.
- [0017] Avantageusement, chaque toron externe est à couches cylindriques.
- [0018] De façon très avantageuse, le toron interne et chaque toron externe sont à couches cylindriques. On rappelle que de telles couches cylindriques sont obtenues lorsque les différentes couches d'un toron sont enroulées à des pas différents et/ou lorsque les sens d'enroulement de ces couches sont distincts d'une couche à l'autre. Un toron à couches cylindriques est très fortement pénétrable contrairement à un toron à couches

compactes dans lequel les pas de toutes les couches sont égaux et les sens d'enroulement de toutes les couches sont identiques qui présente une pénétrabilité bien plus faible.

- [0019] Le toron interne est à deux couches. Le toron interne comprend un assemblage de fils constitué de deux couches de fils, ni plus ni moins, c'est-à-dire que l'assemblage de fils a deux couches de fils, pas une, pas trois, mais uniquement deux.
- [0020] Le toron externe est à deux couches. Le toron externe comprend un assemblage de fils constitué de deux couches de fils, ni plus ni moins, c'est-à-dire que l'assemblage de fils a deux couches de fils, pas une, pas trois, mais uniquement deux.
- [0021] On rappelle que, de manière connue, le pas d'un toron représente la longueur de ce toron, mesurée parallèlement à l'axe du câble, au bout de laquelle le toron ayant ce pas effectue un tour complet autour dudit axe du câble. De façon analogue, le pas d'un fil représente la longueur de ce fil, mesurée parallèlement à l'axe du toron dans lequel il se trouve, au bout de laquelle le fil ayant ce pas effectue un tour complet autour dudit axe du toron.
- [0022] Par sens d'enroulement d'une couche de torons ou de fils, on entend le sens formé par les torons ou les fils par rapport à l'axe du câble ou du toron. Le sens d'enroulement est communément désigné par la lettre soit Z, soit S.
- [0023] Les pas, sens d'enroulement et diamètres des fils et des torons sont déterminés conformément à la norme ASTM D2969-04 de 2014.
- [0024] L'angle de contact entre les fils métalliques externes du toron interne et les fils métalliques externes des torons externes est l'angle α représenté sur la figure 7. Sur cette représentation schématique du câble selon l'invention, on a représenté l'axe A-A' du câble autour duquel la couche interne et la couche externe sont enroulées. Dans cette représentation, on a gardé seulement 2 fils métalliques de la couche externe du toron externe pour mieux visualiser l'angle α qui est l'angle de contact entre le fil métallique externe du toron interne et le fil métallique externe du toron externe. C'est un des paramètres pertinents pour déterminer le coefficient de fragilisation du câble car plus l'angle de contact est faible moins la fragilisation du câble est importante.
- [0025] L'angle d'hélice de chaque toron externe α est une grandeur bien connue de l'homme du métier et peut être déterminé par le calcul suivant : $\tan \alpha = 2\pi \times Re/Pe$, formule dans laquelle pe est le pas exprimé en millimètres dans lequel chaque toron externe est enroulé, Re est le rayon d'hélice de chaque toron externe exprimé en millimètres, et \tan désigne la fonction tangente. α est exprimé en degrés.
- [0026] Par définition, le rayon d'hélice Re de la couche externe du câble est le rayon du cercle théorique passant par les centres des torons externes de la couche externe dans un plan perpendiculaire à l'axe du câble.
- [0027] L'allongement total At , grandeur bien connue de l'homme du métier, est déterminé

par exemple en appliquant la norme ASTM D2969-04 de 2014 à un fil testé de façon à obtenir une courbe force-allongement. On déduit l'At sur la courbe obtenue comme l'allongement, en %, correspondant à la projection sur l'axe des allongements du point de rupture du fil sur la courbe force-allongement, c'est-à-dire le point auquel la charge croît jusqu'à une valeur maximale de force à rupture (Fm) puis décroît brusquement après la rupture. Lorsque la décroissance par rapport à la Fm dépasse un certain seuil cela signifie que la rupture du fil a eu lieu.

- [0028] De préférence, les torons ne subissent pas de préformation.
- [0029] Avantagement, le câble est métallique. Par câble métallique, on entend par définition un câble formé de fils constitués majoritairement (c'est-à-dire pour plus de 50% de ces fils) ou intégralement (pour 100% des fils) d'un matériau métallique. Un tel matériau métallique est préférentiellement mis en œuvre avec un matériau en acier, plus préférentiellement en acier perlitique (ou ferrito-perlitique) au carbone désigné ci-après par "acier au carbone", ou encore en acier inoxydable (par définition, acier comportant au moins 11% de chrome et au moins 50% de fer). Mais il est bien entendu possible d'utiliser d'autres aciers ou d'autres alliages.
- [0030] Lorsqu'un acier au carbone est avantagement utilisé, sa teneur en carbone (% en poids d'acier) est de préférence comprise entre 0,4% et 1,2%, notamment entre 0,5% et 1,1% ; ces teneurs représentent un bon compromis entre les propriétés mécaniques requises pour le pneumatique et la faisabilité des fils.
- [0031] Le métal ou l'acier utilisé, qu'il s'agisse en particulier d'un acier au carbone ou d'un acier inoxydable, peut être lui-même revêtu d'une couche métallique améliorant par exemple les propriétés de mise en œuvre du câble métallique et/ou de ses éléments constitutifs, ou les propriétés d'usage du câble et/ou du pneumatique eux-mêmes, telles que les propriétés d'adhésion, de résistance à la corrosion ou encore de résistance au vieillissement. Selon un mode de réalisation préférentiel, l'acier utilisé est recouvert d'une couche de laiton (alliage Zn-Cu) ou de zinc.
- [0032] De préférence, les fils d'une même couche d'un toron prédéterminé (interne ou externe) présentent tous sensiblement le même diamètre. Avantagement, les torons externes présentent tous sensiblement le même diamètre. Par « sensiblement le même diamètre », on entend que les fils ou les torons ont le même diamètre aux tolérances industrielles près.
- [0033] Avantagement, les torons externes sont enroulés en hélice autour du toron interne selon un pas pe allant de 40 mm à 100 mm et de préférence allant de 50 mm à 90 mm.
- [0034] Le câble selon l'invention présente une énergie surfacique largement améliorée par rapport au câble de l'état de la technique qui présente une énergie surfacique de 120 N.mm⁻¹. Les inventeurs à l'origine de l'invention émettent l'hypothèse que plus on a de contacts inter-fils et plus particulièrement dans les zones inter-torons qui sont les plus

sollicitantes c'est-à-dire plus on a de contact entre les fils métalliques externes du toron interne et les fils métalliques externes des torons externes, plus on dilue l'effort de fragilisation sur le nombre de contacts. Cet effort de contact est dépendant de l'effort que peut reprendre chaque toron c'est-à-dire de l'effort du câble divisé par le nombre de torons. Afin d'optimiser ces contacts, les inventeurs à l'origine de l'invention émettent l'hypothèse qu'il est nécessaire d'avoir de bonnes propriétés géométriques du contact et plus précisément de l'angle de contact entre les fils métalliques externes du toron interne et les fils métalliques externes des torons externes afin d'optimiser les contacts à l'intérieur du câble.

[0035] Avantageusement, $ES \geq 160 \text{ N.mm}^{-1}$, de préférence $ES \geq 165 \text{ N.mm}^{-1}$ et plus préférentiellement $ES \geq 170 \text{ N.mm}^{-1}$.

[0036] Avantageusement, la force à rupture $Fr = \sum_{i=1}^{Nc} F_{mi}$ x Cfrag est telle que $Fr \geq$

25 000 N, de préférence $Fr \geq 26 000 \text{ N}$ et plus préférentiellement $Fr \geq 28 000 \text{ N}$. La force à rupture est mesurée selon la norme ASTM D2969-04. Comme décrit précédemment, le câble présente une force à rupture relativement élevée de façon à maximiser l'énergie de rupture surfacique.

[0037] L'invention a également pour objet un câble extrait d'une matrice polymérique, le câble comprenant :

- une couche interne du câble constituée de $K=1$ toron interne à deux couches comprenant :

- une couche interne constituée de $Q=2, 3$ ou 4 fils métalliques interne(s), et
- une couche externe constituée de N fils métalliques externes de diamètre $d3$ enroulés autour de la couche interne,

- une couche externe du câble constituée de $L>1$ torons externes à deux couches enroulés autour de la couche interne du câble comprenant :

- une couche interne constituée de $Q'=2, 3$ ou 4 fils métalliques internes, et
- une couche externe constituée de N' fils métalliques externes de diamètre $d3'$ enroulés autour de la couche interne, dans lequel le câble extrait présente une énergie

à rupture $ES' \geq 150 \text{ N.mm}^{-1}$ avec $ES' = \sum_{i=1}^{Nc} F_{mi} \times \sum_{i=1}^{Nc} A_{ti} / Nc \times Cfrag'$

/ D où:

- $\sum_{i=1}^{Nc} F_{mi}$ est la somme des forces à rupture pour les Nc fils en Newton;

- $Nc = Q+N+L \times (Q'+N')$ est le nombre total de fils métalliques ;

- D est le diamètre du câble en mm ;

- $\sum_{i=1}^{Nc} A_{ti}$ est la somme de l'allongement total des Nc fils sans unité ;

- C_{frag}' est le coefficient de fragilisation du câble sans unité avec

$$C_{\text{frag}}' = 1 - (2 - C_p) \times \left(\frac{\sin(\alpha_f)}{d_3 \times d_3'} \times \frac{\left(\sum_{i=1}^{Q'+N'} F_{mi} \right) \times \sin(\alpha t)}{N \times C_{ste}} \right)$$

où :

C_p est le coefficient de pénétrabilité du câble

d₃ et d₃' sont exprimés en mm,

α_f est l'angle de contact entre les fils métalliques externes du toron interne et les fils métalliques externes des torons externes exprimé en radian,

α_t est l'angle d'hélice des torons externes exprimé en radian;

C_{ste} = 1500 N.mm⁻².

[0038] De préférence, ES' ≥ 155 N.mm⁻¹ et plus préférentiellement ES' ≥ 160 N.mm⁻¹

[0039] L'allongement total At du câble extrait est mesuré d'une façon analogue à l'allongement total At du câble défini précédemment.

[0040] De façon préférée, le câble extrait présente un diamètre D tel que D ≤ 6,0 mm, de préférence tel que 5,0 mm ≤ D ≤ 5,5 mm. Le diamètre D est mesuré sur le câble extrait selon la norme ASTM D2969-04.

[0041] Le coefficient de fragilisation C_{frag}' prend en compte la pénétration du câble par la matrice polymérique à l'aide du coefficient de pénétration inter-torons C_p. Pour calculer ce coefficient de pénétration, on opère une coupe transversale du câble extrait à la scie. On réitère cette opération dix fois pour obtenir dix coupes transversales sur lesquelles on va calculer un coefficient de pénétration C_p moyen. On observe ensuite au microscope électronique les zones de remplissage de la composition polymérique de chaque câble extrait en quantifiant à l'aide d'un logiciel de traitement d'image le ratio de la surface non métal sans composition polymérique sur la surface remplie de composition polymérique dans la zone de contact Sc_p représentée sur la figure 8 entre les torons externes et le toron interne. Ainsi un câble bien pénétré aura un coefficient de pénétration proche de 1 et un câble moins bien pénétré aura un coefficient de pénétration proche de 0,5.

[0042] De préférence, la matrice polymérique est une matrice élastomérique.

[0043] La matrice polymérique, de préférence élastomérique, est à base d'une composition polymérique, de préférence élastomérique.

[0044] Par matrice polymérique, on entend une matrice comprenant au moins un polymère. La matrice polymérique est ainsi à base d'une composition polymérique.

[0045] Par matrice élastomérique, on entend une matrice comprenant au moins un élastomère. La matrice élastomérique préférentielle est ainsi à base de la composition élastomérique.

- [0046] Par l'expression "à base de", il faut entendre que la composition comporte le mélange et/ou le produit de réaction in situ des différents constituants utilisés, certains de ces constituants pouvant réagir et/ou étant destinés à réagir entre eux, au moins partiellement, lors des différentes phases de fabrication de la composition ; la composition pouvant ainsi être à l'état totalement ou partiellement réticulé ou à l'état non-réticulé.
- [0047] Par composition polymérique, on entend que la composition comprend au moins un polymère. De préférence, un tel polymère peut être un thermoplastique, par exemple un polyester ou un polyamide, un polymère thermodurcissable, un élastomère, par exemple du caoutchouc naturel, un élastomère thermoplastique ou un mélange de ces polymères
- [0048] Par composition élastomérique, on entend que la composition comprend au moins un élastomère et au moins un autre composant. De préférence, la composition comprenant au moins un élastomère et au moins un autre composant comprend un élastomère, un système de réticulation et une charge. Les compositions utilisables pour ces nappes sont des compositions conventionnelles pour calandrage d'éléments filaires de renfort et comprennent un élastomère diénique, par exemple du caoutchouc naturel, une charge renforçante, par exemple du noir de carbone et/ou de la silice, un système de réticulation, par exemple un système de vulcanisation, de préférence comprenant du soufre, de l'acide stéarique et de l'oxyde de zinc, et éventuellement un accélérateur et/ou retardateur de vulcanisation et/ou divers additifs. L'adhésion entre les fils métalliques et la matrice dans laquelle ils sont noyés est assurée par exemple par un revêtement métallique, par exemple une couche de laiton.
- [0049] Les valeurs des caractéristiques décrites dans la présente demande pour le câble extrait sont mesurées sur ou déterminées à partir de câbles extraits d'une matrice polymérique, notamment élastomérique, par exemple d'un pneumatique. Ainsi, par exemple sur un pneumatique, on retire la bande de matière radialement à l'extérieur du câble à extraire de façon à apercevoir le câble à extraire affleurer radialement de la matrice polymérique. Ce retrait peut se faire par décorticage au moyen de pinces et de couteaux ou bien par rabotage. Puis, on dégage l'extrémité du câble à extraire au moyen d'un couteau. Puis, on tire sur le câble de façon à l'extraire de la matrice en appliquant un angle relativement faible de façon à ne pas plastifier le câble à extraire. Les câbles extraits sont alors nettoyés soigneusement, par exemple au moyen d'un couteau, de façon à détacher les restes de matrice polymérique accrochés localement au câble et en prenant soin de ne pas dégrader la surface des fils métalliques.
- [0050] Avantagusement, le câble extrait présente une force à rupture Fr' telle que $Fr' = \sum_{i=1}^{Nc} F_{mi} \times C_{frag}$ telle que $Fr' \geq 24\ 000\ N$, de préférence $Fr' \geq 25\ 000\ N$ et plus préférentiellement $Fr' \geq 27\ 000\ N$. La force à rupture est mesurée sur le câble extrait

selon la norme ASTM D2969-04.

- [0051] Les caractéristiques avantageuses décrites ci-dessous s'appliquent indifféremment au câble tel que défini ci-dessus et au câble extrait.
- [0052] De préférence, α_f est supérieur ou égal à 0° et de préférence supérieur ou égal à 5° .
- [0053] De préférence, α_f est inférieur ou égal à 25° et de préférence inférieur ou égal à 20° .
- [0054] Sur cette plage d'angle de contact allant de 0° à 25° , la zone de contact est maximale et le câble est relativement bien pénétré par la composition polymérique.
- [0055] De préférence, α_t est supérieur ou égal à 0° et de préférence supérieur ou égal à 5° .
- [0056] De préférence, α_t est inférieur ou égal à 20° , de préférence inférieur ou égal à 15° et plus préférentiellement inférieur ou égal à 10° .
- [0057] Sur cette plage d'angle d'hélice, on minimise les efforts de contacts entre torons externes et le toron interne lors de la mise en traction du câble.
- [0058] Avantageusement, au moins 50% des fils métalliques, de préférence au moins 60%, plus préférentiellement au moins 70% des fils métalliques, et très préférentiellement chaque fil métallique du câble comprend une âme en acier présentant une composition conforme à la norme NF EN 10020 de septembre 2000 et un taux de carbone $C > 0,80\%$, de préférence $C \geq 0,82\%$. De telles compositions d'aciers rassemblent les aciers non alliés (points 3.2.1 et 4.1 de la norme NF EN 10020 de septembre 2000), les aciers inoxydables (points 3.2.2 et 4.2 de la norme NF EN 10020 de septembre 2000) et d'autres aciers alliés (point 3.2.3 et 4.3 de la norme NF EN 10020 de septembre 2000). Un taux de carbone relativement élevé permet d'atteindre la résistance mécanique des fils métalliques des câbles selon l'invention. On aurait également pu modifier le procédé de fabrication des fils métalliques, notamment en écrouissant davantage chaque fil métallique afin d'augmenter la résistance mécanique des fils métalliques. Alors que la modification du procédé de fabrication des fils métalliques nécessite des investissements industriels relativement importants, l'utilisation d'un taux de carbone relativement élevé ne nécessite aucun investissement. En outre, l'utilisation d'un taux de carbone relativement élevé permet de préserver l'endurance en flexion-compression des fils métalliques au contraire d'un procédé dans lequel, en écrouissant davantage les fils métalliques, on réduirait sensiblement cette endurance en flexion-compression.
- [0059] Avantageusement, au moins 50% des fils métalliques, de préférence au moins 60%, plus préférentiellement au moins 70% des fils métalliques, et très préférentiellement chaque fil métallique du câble comprend une âme en acier présentant une composition conforme à la norme NF EN 10020 de septembre 2000 et un taux de carbone $C \leq 1,20\%$ et de préférence $C \leq 1,10\%$. L'utilisation d'un taux de carbone trop important est d'une part relativement coûteuse et d'autre part entraîne une baisse de l'endurance en fatigue-corrosion des fils métalliques.

- [0060] De préférence, d_1 , d_1' , d_3 , d_3' vont, indépendamment les uns des autres, de 0,25 mm à 0,50 mm, de préférence de 0,30 mm à 0,45 mm et plus préférentiellement de 0,32 mm à 0,42 mm.
- [0061] Avantageusement, la couche externe du câble est saturée.
- [0062] Par définition, une couche de câble saturée est telle que la distance inter-torons des torons externes est inférieure strictement à 20 μm . La distance inter-torons de la couche externe de torons externes est définie, sur une section du câble perpendiculaire à l'axe principal du câble, comme la distance la plus courte qui sépare, en moyenne, les enveloppes circulaires dans lesquelles sont inscrits deux torons externes adjacents. Ainsi, cette construction du câble permet d'assurer une bonne stabilité architecturale de la couche externe et la saturation de la couche externe permet de s'assurer que la couche externe comprend un nombre relativement élevé de torons externes et donc présente une force à rupture relativement élevée.
- [0063] Par opposition, une couche de câble désaturée est telle que la distance inter-torons des torons externes est supérieure ou égale à 20 μm .
- [0064] Avantageusement, la couche externe du toron interne est désaturée.
- [0065] Par définition, une couche désaturée est telle qu'il existe suffisamment d'espace entre les fils de façon à permettre le passage d'une composition polymérique, de préférence élastomérique. Une couche désaturée signifie que les fils ne se touchent pas et qu'il y a suffisamment d'espace entre deux fils adjacents permettant le passage d'une composition polymérique, de préférence élastomérique. Par opposition, une couche saturée est telle qu'il n'existe pas suffisamment d'espace entre les fils de la couche pour permettre le passage d'une composition polymérique, de préférence élastomérique, par exemple car les fils de la couche se touchent deux à deux.
- [0066] Avantageusement, la distance interfils de la couche externe du toron interne est supérieure ou égale à 5 μm . De préférence, la distance interfils de la couche externe du toron interne est supérieure ou égale à 15 μm , plus préférentiellement supérieure ou égale à 35 μm , encore plus préférentiellement supérieure ou égale à 50 μm et très préférentiellement supérieure ou égale à 60 μm .
- [0067] De préférence, la distance interfils de la couche externe du toron interne est inférieure ou égale à 100 μm .
- [0068] Avantageusement, la somme SI_3 des distances interfils I_3 de la couche externe du toron interne est supérieure au diamètre d_3 des fils externe de la couche externe.
- [0069] Avantageusement, chaque toron est du type non gommé in situ. Par non gommé in situ, on entend qu'avant assemblage des torons entre eux, chaque toron est constitué des fils des différentes couches et dépourvu de composition polymérique, notamment de composition élastomérique.
- [0070] Avantageusement, la couche externe de chaque toron externe est désaturée.

- [0071] Avantageusement, la distance interfils de la couche externe de chaque toron externe est supérieure ou égale à 5 μm . De préférence, la distance interfils de la couche externe de chaque toron externe est supérieure ou égale à 15 μm , plus préférentiellement supérieure ou égale à 35 μm , encore plus préférentiellement supérieure ou égale à 50 μm et très préférentiellement supérieure ou égale à 60 μm .
- [0072] De préférence, la distance interfils de la couche externe de chaque toron externe est inférieure ou égale à 100 μm .
- [0073] Avantageusement, la somme $SI3'$ des distances interfils $I3'$ de la couche externe de chaque toron externe est supérieure ou égale au diamètre $d3'$ des fils externes de la couche externe.
- [0074] De préférence, chaque fil métallique interne du toron interne présente un diamètre $d1$ supérieur ou égal au diamètre $d3$ de chaque fil métallique externe du toron interne, de préférence $1,00 \leq d1/d3 \leq 1,20$.
- [0075] De préférence, chaque fil métallique interne de chaque toron externe présente un diamètre $d1'$ supérieur ou égal au diamètre $d3'$ de chaque fil métallique externe de chaque toron externe (TE), de préférence $1,00 \leq d1'/d3' \leq 1,20$.
- [0076] Dans un mode de réalisation, chaque fil interne présente un diamètre $d1$ ou $d1'$ supérieur ou égal respectivement au diamètre $d3$ ou $d3'$ de chaque fil externe. L'utilisation de diamètres tels que $d1 > d3$ ou $d1' > d3'$ permet de favoriser la pénétrabilité de la composition polymérique, par exemple de la composition élastomérique, au travers de la couche externe. Dans un autre mode de réalisation où $d1 = d3$ et $d1' = d3'$, on peut limiter le nombre de fils différents à gérer lors de la fabrication du câble.
- [0077] De préférence, la couche externe du toron interne est enroulée autour de la couche interne du toron interne au contact de la couche interne du toron interne.
- [0078] Avantageusement, $L=6, 7$ ou 8 de préférence $L=6$ ou 7 et plus préférentiellement $L=6$.
- [0079] De préférence, $K=1$ et $L=6$. Dans le câble dans lequel $K=1$, les efforts transversaux les plus sévères sont les efforts transversaux exercés par les torons externes sur le toron interne.
- [0080] Toron interne du câble selon l'invention
- [0081] Dans un mode de réalisation préféré, $Q > 1$, de préférence $Q=2, 3$ ou 4 . Dans le cas où Q serait égal à 1 , il existerait un risque de voir, sous l'effet des efforts répétés de compression appliqués au câble, le fil interne du toron interne sortir radialement du toron interne et même du câble. Grâce à la présence de plusieurs fils dans la couche interne du toron interne ($Q > 1$), on réduit ce risque, les efforts de compression étant alors répartis sur la pluralité de fils de la couche interne.
- [0082] Avantageusement, $N = 7, 8, 9$ ou 10 et de préférence $N=8$ ou 9 .

- [0083] Dans une première variante, $Q=2$ et $N=7$ ou 8 , de préférence $Q=2$, $N=7$.
- [0084] Dans une deuxième variante, $Q=3$ et $N=7$, 8 ou 9 , de préférence $Q=3$, $N=8$.
- [0085] Dans une troisième variante, $Q=4$ et $N=7$, $8,9$ ou 10 , de préférence $Q=4$, $N=9$.
- [0086] Très avantageusement, chaque fil interne du toron interne présente un diamètre $d1$ égal au diamètre $d3$ de chaque fil externe du toron interne. Ainsi, on utilise préférentiellement le même diamètre de fil sur les couches interne et externe du toron interne ce qui limite le nombre de fils différents à gérer lors de la fabrication du câble.
- [0087] Torons externes du câble selon l'invention
- [0088] Avantageusement, $N' =7$, 8 , 9 ou 10 et de préférence $N'=8$ ou 9 .
- [0089] Dans une première variante, $Q'=2$ et $N'=7$ ou 8 , de préférence $Q'=2$, $N'=7$.
- [0090] Dans une deuxième variante, $Q'=3$ et $N'=7$, 8 ou 9 , de préférence $Q'=3$, $N'=8$.
- [0091] Dans une troisième variante, $Q'=4$ et $N'=7$, $8,9$ ou 10 , de préférence $Q'=4$, $N'=9$.
- [0092] Très avantageusement, chaque fil interne du toron externe présente un diamètre $d1'$ égal au diamètre $d3'$ de chaque fil externe du toron externe. Ainsi, on utilise préférentiellement le même diamètre de fil sur les couches interne et externe du toron externe ce qui limite le nombre de fils différents à gérer lors de la fabrication du câble.
- [0093] Avantageusement, $Q=4$ et $N=9$, $Q'=4$ et $N'=9$, et $d1=d3=d1'=d3'$.
- [0094] **PRODUIT RENFORCE SELON L'INVENTION**
- [0095] Un autre objet de l'invention est un produit renforcé comprenant une matrice polymérique et au moins un câble ou câble extrait tel que défini précédemment.
- [0096] Avantageusement, le produit renforcé comprend un ou plusieurs câbles selon l'invention noyés dans la matrice polymérique, et dans le cas de plusieurs câbles, les câbles sont agencés côte à côte selon une direction principale.
- [0097] **PNEUMATIQUE SELON L'INVENTION**
- [0098] Un autre objet de l'invention est un pneumatique comprenant au moins un câble ou un produit renforcé tel que défini ci-dessus.
- [0099] De préférence, le pneumatique comporte une armature de carcasse ancrée dans deux bourrelets et surmontée radialement par une armature de sommet elle-même surmontée d'une bande de roulement, l'armature de sommet étant réunie auxdits bourrelets par deux flancs et comportant au moins un câble tel que défini ci-dessus.
- [0100] Dans un mode de réalisation préféré, l'armature de sommet comprend une armature de protection et une armature de travail, l'armature de travail comprenant au moins un câble tel que défini ci-dessus, l'armature de protection étant radialement intercalée entre la bande de roulement et l'armature de travail.
- [0101] Le câble est tout particulièrement destiné à des véhicules industriels choisis parmi des véhicules lourds tels que "Poids lourd" - i.e., métro, bus, engins de transport routier (camions, tracteurs, remorques), véhicules hors-la-route -, engins agricoles ou de génie civil, autres véhicules de transport ou de manutention.

[0102] De manière préférentielle, le pneumatique est pour véhicule de type génie civil. Ainsi, le pneumatique présente une dimension dans laquelle le diamètre, en pouces, du siège de la jante sur laquelle le pneumatique est destiné à être monté est supérieur ou égal à 40 pouces.

[0103] L'invention concerne également un article de caoutchouc comprenant un assemblage selon l'invention, ou un assemblage imprégné selon l'invention. Par article de caoutchouc, on entend tout type d'article de caoutchouc tel qu'un ballon, un objet non pneumatique tel qu'un bandage non pneumatique, une bande transporteuse ou une chenille.

[0104] L'invention sera mieux comprise à la lecture des exemples qui vont suivre, donnés uniquement à titre d'exemples non limitatifs et faite en se référant aux dessins dans lesquels :

- la figure 1 est une vue en coupe perpendiculaire à la direction circonférentielle d'un pneumatique selon l'invention ;

- la figure 2 est une vue de détails de la zone II de la figure 1 ;

- la figure 3 est une vue en coupe d'un produit renforcé selon l'invention ;

- la figure 4 est une vue schématique en coupe perpendiculaire à l'axe du câble (supposé rectiligne et au repos) d'un câble (50) selon un premier mode de réalisation de l'invention ;

- la figure 5 une vue schématique en coupe perpendiculaire à l'axe du câble (supposé rectiligne et au repos) d'un câble extrait (50') selon un premier mode de réalisation de l'invention ;

- la figure 6 est une vue analogue à celle de la figure 4 d'un câble (60) selon un deuxième mode de réalisation l'invention ;

- la figure 7 est une représentation schématique de l'angle α du câble (50) de la figure 4 ;et

- la figure 8 est une photographie d'un câble (50) selon un premier mode de réalisation de l'invention.

[0105] **EXEMPLE DE PNEUMATIQUE SELON L'INVENTION**

[0106] Dans les figures 1 et 2, on a représenté un repère X, Y, Z correspondant aux orientations habituelles respectivement axiale (X), radiale (Y) et circonférentielle (Z) d'un pneumatique.

[0107] Le « plan circonférentiel médian » M du pneumatique est le plan qui est normal à l'axe de rotation du pneumatique et qui se situe à équidistance des structures annulaires de renfort de chaque bourrelet.

[0108] On a représenté sur les figures 1 et 2 un pneumatique selon l'invention et désigné par la référence générale 10.

[0109] Le pneumatique 10 est pour véhicule lourd de type génie civil, par exemple de type

« dumper ». Ainsi, le pneumatique 10 présente une dimension de type 53/80R63.

- [0110] Le pneumatique 10 comporte un sommet 12 renforcé par une armature de sommet 14, deux flancs 16 et deux bourrelets 18, chacun de ces bourrelets 18 étant renforcé avec une structure annulaire, ici une tringle 20. L'armature de sommet 14 est surmontée radialement d'une bande de roulement 22 et réunie aux bourrelets 18 par les flancs 16. Une armature de carcasse 24 est ancrée dans les deux bourrelets 18, et est ici enroulée autour des deux tringles 20 et comprend un retournement 26 disposé vers l'extérieur du pneumatique 20 qui est ici représenté monté sur une jante 28. L'armature de carcasse 24 est surmontée radialement par l'armature de sommet 14.
- [0111] L'armature de carcasse 24 comprend au moins une nappe de carcasse 30 renforcée par des câbles de carcasse radiaux (non représentés). Les câbles de carcasse sont agencés sensiblement parallèlement les uns aux autres et s'étendent d'un bourrelet 18 à l'autre de manière à former un angle compris entre 80° et 90° avec le plan circonférentiel médian M (plan perpendiculaire à l'axe de rotation du pneumatique qui est situé à mi-distance des deux bourrelets 18 et passe par le milieu de l'armature de sommet 14).
- [0112] Le pneumatique 10 comprend également une nappe d'étanchéité 32 constituée d'un élastomère (communément appelée gomme intérieure) qui définit la face radialement interne 34 du pneumatique 10 et qui est destinée à protéger la nappe de carcasse 30 de la diffusion d'air provenant de l'espace intérieur au pneumatique 10.
- [0113] L'armature de sommet 14 comprend, radialement de l'extérieur vers l'intérieur du pneumatique 10, une armature de protection 36 agencée radialement à l'intérieur de la bande de roulement 22, une armature de travail 38 agencée radialement à l'intérieur de l'armature de protection 36 et une armature additionnelle 40 agencée radialement à l'intérieur de l'armature de travail 38. L'armature de protection 36 est ainsi radialement intercalée entre la bande de roulement 22 et l'armature de travail 38. L'armature de travail 38 est radialement intercalée entre l'armature de protection 36 et l'armature additionnelle 40.
- [0114] L'armature de protection 36 comprend des première et deuxième nappes de protection 42, 44 comprenant des câbles métalliques de protection, la première nappe 42 étant agencée radialement à l'intérieur de la deuxième nappe 44. De façon optionnelle, les câbles métalliques de protection font un angle au moins égal à 10° , de préférence allant de 10° à 35° et préférentiellement de 15° à 30° avec la direction circonférentielle Z du pneumatique.
- [0115] L'armature de travail 38 comprend des première et deuxième nappes de travail 46, 48, la première nappe 46 étant agencée radialement à l'intérieur de la deuxième nappe 48. Chaque nappe 46, 48 comprend au moins un câble 50. De façon optionnelle, les câbles métalliques 50 de travail sont croisés d'une nappe de travail à l'autre et font un

angle au plus égal à 60° , de préférence allant de 15° à 40° avec la direction circonférentielle Z du pneumatique.

[0116] L'armature additionnelle 40, également appelée bloc limiteur, dont la fonction est de reprendre en partie les sollicitations mécaniques de gonflage, comprend, par exemple et de façon connue en soi, des éléments de renfort métalliques additionnels, par exemple tels que décrits dans FR 2 419 181 ou FR 2 419 182 faisant un angle au plus égal à 10° , de préférence allant de 5° à 10° avec la direction circonférentielle Z du pneumatique 10.

[0117] **EXEMPLE DE PRODUIT RENFORCE SELON L'INVENTION**

[0118] On a représenté sur la figure 3 un produit renforcé selon l'invention et désigné par la référence générale 100. Le produit renforcé 100 comprend au moins un câble 50, en l'espèce plusieurs câbles 50, noyés dans la matrice polymérique 102.

[0119] Sur la figure 3, on a représenté la matrice polymérique 102, les câbles 50 dans un repère X, Y, Z dans lequel la direction Y est la direction radiale et les directions X et Z sont les directions axiale et circonférentielle. Sur la figure 3, le produit renforcé 100 comprend plusieurs câbles 50 agencés côte à côte selon la direction principale X et s'étendant parallèlement les uns aux autres au sein du produit renforcé 100 et noyés collectivement dans la matrice polymérique 102.

Ici, la matrice polymérique 102 est une matrice élastomérique à base d'une composition élastomérique.

[0120] **CABLE SELON UN PREMIER MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

[0121] On a représenté sur la figure 4 le câble 50 selon un premier mode de réalisation de l'invention.

[0122] En référence à la figure 5, chaque élément de renfort de protection 43, 45 et chaque élément de renfort de frettage 53, 55 est formé, après extraction du pneumatique 10, par un câble extrait 50' tel que décrit ci-dessous. Le câble 50 est obtenu par noyage dans une matrice polymérique, en l'espèce dans une matrice polymérique formant respectivement chaque matrice polymérique de chaque nappe de protection 42, 44 et de chaque couche de frettage 52, 54 dans laquelle sont noyés respectivement les éléments de renfort de protection 43, 45 et de frettage 53, 55.

[0123] Le câble 50 et le câble extrait 50' sont métalliques et du type multi-torons à deux couches cylindriques. Ainsi, on comprend que les couches de torons constituant le câble 50 ou 50' sont au nombre de deux, ni plus, ni moins.

[0124] Le câble 50 ou le câble 50' comprend une couche interne CI du câble constituée de $K=1$ toron interne TI. La couche externe CE est constituée de $L>1$ torons externes TE enroulés autour de la couche interne CI du câble. En l'espèce, $L=6, 7$ ou 8 , de préférence $L=6$ ou 7 et plus préférentiellement $L=6$ et ici $L=6$.

[0125] Le câble 50 présente une énergie à rupture surfacique :

$$ES = \sum_{i=1}^{Nc} F_{mi} \times \sum_{i=1}^{Nc} A_{ti} / Nc \times Cfrag / D = ((4+9+6 \times (4+9)) \times 401) \times 0,0282 \times \\ (1 - \left(\frac{\sin(18,9 \times \pi / 180)}{0,40 \times 0,40} \times \frac{(4+9) \times 401 \times \sin(9,1 \times \pi / 180)}{9 \times 1500} \right)) / 5,3 = 91 \times 401 \times 0,0282 \times 0,879 / 5,3 = 171 \text{ N.mm}^{-1}.$$

[0126] $Fr = \sum_{i=1}^{Nc} F_m \times Cfrag = 91 \times 401 \times 0,879 = 32\,083 \text{ N}.$

[0127] Le câble 50 comprend également une frette F non représentée constituée d'un unique fil de frette.

[0128] Le câble extrait 50' présente une énergie à rupture surfacique :

$$ES' = \sum_{i=1}^{Nc} F_m \times \sum_{i=1}^{Nc} A_t / Nc \times Cfrag' / D = (91 \times 401) \times 0,0282 \times \\ (1 - (2 - 0,9)) \times \left(\frac{\sin(18,9 \times \pi / 180)}{0,40 \times 0,40} \times \frac{(4+9) \times 401 \times \sin(9,1 \times \pi / 180)}{9 \times 1500} \right) / 5,3 = 36\,491 \times 0,0282 \times 0,867 / \\ 5,3 = 168 \text{ N.mm}^{-1}.$$

Pour calculer Cp, par exemple sur la photographie en figure 8 du câble 50' dans le composite, on détermine à l'aide d'un logiciel le ratio de la surface non métal sans composition polymérique sur la surface remplie de composition polymérique dans la zone de contact Scp entre les torons externes et le toron interne. Ici le ratio moyenné sur 10 coupes transverses est égal à 0,9.

[0129] $Fr' = \sum_{i=1}^{Nc} F_m \times Cfrag' = 91 \times 401 \times 0,867 = 31\,643 \text{ N}.$

[0130] La couche externe des câbles 50 et 50' est saturée. Ainsi, la distance inter-torons E des torons externes est inférieure strictement à 20 µm. Ici E=0 µm.

[0131] αf est supérieur ou égal à 0° et de préférence supérieur ou égal à 5° et inférieur ou égal à 25° et de préférence inférieur ou égal à 20°. Ici αf = 18,9°.

[0132] αt est supérieur ou égal à 0° et de préférence supérieur ou égal à 5° et inférieur ou égal à 20°, de préférence inférieur ou égal à 15° et plus préférentiellement inférieur ou égal à 10°. Ici αt = 9,1°.

[0133] Torons internes TI des câbles 50 et 50'

[0134] Chaque toron interne TI est à deux couches et comprend une couche interne C1 constituée de Q= 2, 3 ou 4 fils métalliques internes F1 et une couche externe C3 constituée de N fils métalliques externes F3 enroulés autour de la couche interne C1.

[0135] Ici Q=4.

[0136] N =7, 8, 9 ou 10, et de préférence N=8 ou 9 ici N=9.

[0137] La couche externe C3 de chaque toron interne TI est désaturée. La distance interfils de la couche externe du toron interne est supérieure ou égale à 15 µm, plus préférentiellement supérieure ou égale à 35 µm, encore plus préférentiellement supérieure ou égale à 50 µm et très préférentiellement supérieure ou égale à 60 µm et ici égale à 61

μm . La somme SI_3 des distances interfils I_3 de la couche externe C_3 est supérieure au diamètre d_3 des fils externe F_3 de la couche externe C_3 . Ici, la somme $SI_3 = 0,061 \times 9 = 0,55 \text{ mm}$, valeur supérieure à $d_3 = 0,40 \text{ mm}$.

- [0138] Chaque fil interne et externe de chaque toron interne TI présente respectivement un diamètre d_1 et d_3 . Chaque fil métallique interne F_1 de chaque toron interne TI présente un diamètre d_1 supérieur ou égal au diamètre d_3 de chaque fil métallique externe F_3 de chaque toron interne TI , de préférence $1,00 \leq d_1/d_3 \leq 1,20$.
- [0139] d_1 et d_3 vont, indépendamment l'un de l'autre, de $0,25 \text{ mm}$ à $0,50 \text{ mm}$, de préférence de $0,30 \text{ mm}$ à $0,45 \text{ mm}$ et plus préférentiellement de $0,32 \text{ mm}$ à $0,42 \text{ mm}$. Ici $d_1 = d_3 = 0,40 \text{ mm}$.
- [0140] Torons externes TE des câbles 50 et $50'$
- [0141] Chaque toron externe TE est à deux couches et comprend une couche interne C_1' constituée de $Q' = 2, 3$ ou 4 fils métalliques internes F_1' et une couche externe C_3' constituée de N' fils métalliques externes F_3' enroulés autour de la couche interne C_1' .
- [0142] Ici $Q' = 4$.
- [0143] $N' = 7, 8, 9$ ou 10 et de préférence $N' = 8$ ou 9 , ici $N' = 9$.
- [0144] La couche externe C_3' de chaque toron externe TE est désaturée. Etant désaturée, la distance interfils I_3' de la couche externe C_3' séparant en moyenne les N' fils externes est supérieure ou égale à $5 \mu\text{m}$. La distance interfils I_3' de la couche externe de chaque toron externe est supérieure ou égale à $15 \mu\text{m}$, plus préférentiellement supérieure ou égale à $35 \mu\text{m}$, encore plus préférentiellement supérieure ou égale à $50 \mu\text{m}$ et très préférentiellement supérieure ou égale à $60 \mu\text{m}$ et ici égale à $61 \mu\text{m}$. La somme SI_3' des distances interfils I_3' de la couche externe C_3' est supérieure au diamètre d_3' des fils externes F_3' de la couche externe C_3' . Ici, la somme $SI_3' = 0,061 \times 9 = 0,55 \text{ mm}$, valeur supérieure à $d_3' = 0,40 \text{ mm}$.
- [0145] Chaque couche interne et externe C_1' , C_3' de chaque toron externe TE est enroulée selon le même sens d'enroulement du câble et des couches interne et externe C_1 , C_3 du toron interne TI . Ici le sens d'enroulement de chaque couche du câble et du câble est Z .
- [0146] Chaque fil interne et externe de chaque toron externe TE présente respectivement un diamètre d_1' et d_3' . Chaque fil métallique interne F_1' de chaque toron externe TE présente un diamètre d_1' supérieur ou égal au diamètre d_3' de chaque fil métallique externe F_3' de chaque toron externe TE , de préférence $1,00 \leq d_1'/d_3' \leq 1,20$.
- [0147] d_1' et d_3' vont, indépendamment l'un de l'autre, de $0,25 \text{ mm}$ à $0,50 \text{ mm}$, de préférence de $0,30 \text{ mm}$ à $0,45 \text{ mm}$ et plus préférentiellement de $0,32 \text{ mm}$ à $0,42 \text{ mm}$. Ici $d_1' = d_3' = 0,40 \text{ mm}$.
- [0148] Les câbles 50 et $50'$ sont tels que $Q = 4$ et $N = 9$; $Q' = 4$ et $N' = 9$, et $d_1 = d_3 = d_1' = d_3'$. Ici $d_1 = d_3 = d_1' = d_3' = 0,40 \text{ mm}$.
- [0149] Au moins 50% des fils métalliques, de préférence au moins 60% , plus préféren-

tiellement au moins 70% des fils métalliques, et très préférentiellement chaque fil métallique du câble comprend une âme en acier présentant une composition conforme à la norme NF EN 10020 de septembre 2000 et un taux de carbone $C > 0,80\%$ et de préférence $C \geq 0,82\%$ et au moins 50% des fils métalliques, de préférence au moins 60%, plus préférentiellement au moins 70% des fils métalliques, et très préférentiellement chaque fil métallique du câble comprend une âme en acier présentant une composition conforme à la norme NF EN 10020 de septembre 2000 et un taux de carbone $C \leq 1,20\%$ et de préférence $C \leq 1,10\%$. Ici chaque fil métallique comprend une âme en acier présentant une composition conforme à la norme NF EN 10020 de septembre 2000 et un taux de carbone $C = 1\%$.

[0150] Chaque fil présente une résistance à la rupture, notée R_m , telle que $2500 \leq R_m \leq 3100$ MPa. On dit de l'acier de ces fils qu'il est de grade SHT (« Super High Tensile »). D'autres fils peuvent être utilisés, par exemple des fils de grade inférieur, par exemple de grade NT (« Normal Tensile ») ou HT (« High Tensile »), comme des fils de grade supérieur, par exemple de grade UT (« Ultra Tensile ») ou MT (« Mega Tensile »).

[0151] **PROCEDE DE FABRICATION DU CABLE SELON L'INVENTION**

[0152] Nous allons maintenant décrire un exemple de procédé de fabrication du câble multi-torons 50.

[0153] Chaque toron interne précédemment décrit est fabriqué selon des procédés connus comportant les étapes suivantes, opérées préférentiellement en ligne et en continu :

- tout d'abord, une première étape d'assemblage par câblage des $Q = 4$ fils internes F_1 de la couche interne C_1 au pas p_1 et dans le sens Z pour former la couche interne C_1 en un premier point d'assemblage ;
- suivie d'une deuxième étape d'assemblage par câblage ou retordage des N fils externes F_3 autour des Q fils internes F_1 de la couche interne C_1 au pas p_3 et dans le sens Z pour former la couche externe C_3 en un deuxième point d'assemblage ;
- préférentiellement une étape d'équilibrage final des torsions.

[0154] Chaque toron externe précédemment décrit est fabriqué selon des procédés connus comportant les étapes suivantes, opérées préférentiellement en ligne et en continu:

- tout d'abord, une première étape d'assemblage par câblage des $Q' = 2, 3$ ou 4 fils internes F_1' de la couche interne C_1' au pas p_1' et dans le sens Z pour former la couche interne C_1' en un premier point d'assemblage ;
- suivie d'une deuxième étape d'assemblage par câblage ou retordage des N' fils externes F_3' autour des Q' fils internes F_1' de la couche interne C_1' au pas p_3' et dans le sens Z pour former la couche externe C_3' en un deuxième point d'assemblage ;
- préférentiellement une étape d'équilibrage final des torsions.

[0155] Par « équilibrage de torsion », on entend ici de manière bien connue de l'homme du

métier l'annulation des couples de torsion résiduels (ou du retour élastique de de torsion) s'exerçant sur chaque fil du toron, dans la couche intermédiaire comme dans la couche externe.

- [0156] Après cette étape ultime d'équilibrage de la torsion, la fabrication du toron est terminée. Chaque toron est enroulé sur une ou plusieurs bobines de réception, pour stockage, avant l'opération ultérieure d'assemblage par câblage des torons élémentaires pour l'obtention du câble multi-torons.
- [0157] Pour la fabrication du câble multi-torons de l'invention, on procède de manière bien connue de l'homme du métier, par câblage ou retordage des torons précédemment obtenus, à l'aide de machines de câblage ou retordage dimensionnées pour assembler des torons.
- [0158] Ainsi, on assemble les L torons externes TE autour du toron interne TI au pas pe et dans le sens Z pour former le câble 50. Eventuellement, dans une dernière étape d'assemblage, on enroule la frette F au pas pf dans le sens S autour de l'assemblage précédemment obtenu.
- [0159] Le câble 50 est ensuite incorporé par calandrage à des tissus composites formés d'une composition connue à base de caoutchouc naturel et de noir de carbone à titre de charge renforçante, utilisée conventionnellement pour la fabrication des armatures de sommet de pneumatiques radiaux. Cette composition comporte essentiellement, en plus de l'élastomère et de la charge renforçante (noir de carbone), un antioxydant, de l'acide stéarique, une huile d'extension, du naphthénate de cobalt en tant que promoteur d'adhésion, enfin un système de vulcanisation (soufre, accélérateur, ZnO).
- [0160] Les tissus composites renforcés par ces câbles comportent une matrice de composition élastomérique formée de deux couches fines de composition élastomérique qui sont superposées de part et d'autre des câbles et qui présentent respectivement une épaisseur allant de 1 et 4 mm. Le pas de calandrage (pas de pose des câbles dans le tissu de composition élastomérique) va de 4 mm à 8 mm.
- [0161] Ces tissus composites sont ensuite utilisés en tant que nappe de travail dans l'armature de sommet lors du procédé de fabrication du pneumatique, dont les étapes sont par ailleurs connues de l'homme du métier.
- [0162] **CÂBLE SELON UN DEUXIEME MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**
- [0163] On a représenté sur la figure 6 un câble 60 selon un deuxième mode de réalisation de l'invention.
- [0164] A la différence du premier mode de réalisation décrit précédemment, le câble 60 selon le deuxième mode de réalisation est tel que $Q=3$ et $N=8$ et $Q'=3$ et $N'=8$.
- [0165] On a résumé dans le tableau 1 ci-dessous les caractéristiques pour les différents câbles 50, 50' et 60.

[Tableaux1]

Câbles		50	50'	60
TI	Q/N	4/9	4/9	3/8
	d1/d3	0,40/0,40	0,40/0,40	0,40/0,40
	sens C1/pas p1 (mm)	Z/10	Z/10	Z/10
	sens C3/pas p3 (mm)	Z/20	Z/20	Z/20
	I3(μ m)/SI3(mm)	61/0,55	61/0,55	78/0,62
TE	Q'/N'	4/9	4/9	3/8
	d1'/d3'	0,40/0,40	0,40/0,40	0,40/0,40
	sens C1'/pas p1' (mm)	Z/10	Z/10	Z/10
	sens C3'/pas p3' (mm)	Z/20	Z/20	Z/20
	I3'(μ m)/SI3'(mm)	61/0,55	61/0,55	78/0,62
Sens câble/pi/pe		Z/inf/70	Z/inf/70	Z/inf/70
K		1	1	1
L		6	6	6
E (μ m)		0	0	0
Fm (N)		401	401	401
D (mm)		5,3	5,3	4,9
Moy At fils		0,0282	0,0282	0,0282
Nc		91	91	77
α_f ($^\circ$)		18,9	18,9	5,4
α_t ($^\circ$)		9,1	9,1	8,6
Cfrag		0,879	-	0,968
Coeff pénétration		-	0,9	-
Cfrag'		-	0,867	-
Fr (N)		32083	-	29896
Fr' (N)		-	31643	-

ES (N.mm ⁻¹)	171	-	173
ES' (N.mm ⁻¹)	-	168	-

TESTS COMPARATIFS

[0166] Evaluation de l'énergie de rupture surfacique

[0167] On a simulé différents câbles témoins et de l'état de la technique.

[0168] On a résumé dans le tableau 2, les caractéristiques du câble témoin T1 et du câble de l'état de la technique EDT (exemple 8 de WO2016017655).

[0169]

[Tableaux2]

Câbles		EDT	EDT'
TI	Q/N	3/8	3/8
	d1/d3	0,33/0,35	0,33/0,35
	sens C1/pas p1 (mm)	Z/10	Z/10
	sens C3/pas p3 (mm)	Z/20	Z/20
	I3(μ m)/SI3(mm)	53/0,42	53/0,42
TE	Q'/N'	3/9	3/9
	d1'/d3'	0,29/0,29	0,29/0,29
	sens C1'/pas p1' (mm)	Z/10	Z/10
	sens C3'/pas p3' (mm)	Z/20	Z/20
	I3'(μ m)/SI3'(mm)	21/0,19	21/0,19
Sens câble/pi/pe		Z/inf/70	Z/inf/70
K		1	1
L		6	6
E (μ m)		98	98
Fm (N)		223	223
D (mm)		3,7	3,7
Moy At fils		0,0253	0,0253
Nc		83	83
α_f ($^\circ$)		9,0	9,0
α_t ($^\circ$)		6,7	6,7
Cfrag		0,938	-
Coeff pénétration		-	1
Cfrag'		-	0,938
Fr (N)		17572	-
Fr' (N)		-	17572
ES (N.mm ⁻¹)		120	
ES' (N.mm ⁻¹)		-	120

[0170] Les tableaux 1 et 2 montrent que, les câbles 50, 50' et 60 présentent une énergie de rupture surfacique améliorée par rapport aux câbles de l'état de la technique EDT et

EDT'. En effet, les câbles EDT et EDT' présentent un coefficient de fragilisation relativement élevé mais une force à rupture relativement faible entraînant une énergie de rupture surfacique insuffisante pour réduire le nombre de rupture et le nombre de perforation des câbles dans le pneumatique. Ainsi les câbles selon l'invention présentent une énergie à rupture surfacique $ES \geq 150 \text{ N.mm}^{-1}$ suffisamment élevée pour remédier à ces inconvénients.

[0171] L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation précédemment décrits.

Revendications

[Revendication 1]

Câble (50) multi-torons à deux couches, comprenant :

- une couche interne (CI) du câble constituée de K=1 toron interne (TI) à deux couches (C1, C3) comprenant :

- une couche interne (C1) constituée de Q=2,3 ou 4 fils métalliques internes (F1), et

- une couche externe (C3) constituée de N fils métalliques externes (F3) de diamètre d3 enroulés autour de la couche interne (C1),

- une couche externe (CE) du câble constituée de L>1 torons externes (TE) à deux couches (C1', C3') enroulés autour de la couche interne (CI) du câble comprenant :

- une couche interne (C1') constituée de Q'=2, 3 ou 4 fils métalliques internes (F1'), et

- une couche externe (C3') constituée de N' fils métalliques externes (F3') de diamètre d3' enroulés autour de la couche interne (C1'),

caractérisé en ce que

le câble (50) présente une énergie à rupture surfacique $ES \geq 155 \text{ N.mm}^{-1}$

avec $ES = \sum_{i=1}^{Nc} F_{mi} \times \sum_{i=1}^{Nc} A_{ti} / Nc \times C_{frag} / D$ où :

- $\sum_{i=1}^{Nc} F_{mi}$ est la somme des forces à rupture pour les Nc fils en

Newton;

- $Nc = Q+N+L \times (Q'+N')$ est le nombre total de fils métalliques ;

- D est le diamètre du câble en mm ;

- $\sum_{i=1}^{Nc} A_{ti}$ est la somme de l'allongement total des Nc fils sans

unité ;

- C_{frag} est le coefficient de fragilisation du câble (50) sans unité avec

$$C_{frag} = 1 - \left(\frac{\sin(\alpha_f)}{d3 \times d3'} \times \frac{\left(\sum_{i=1}^{Q'+N'} F_{mi} \right) \times \sin(\alpha t)}{N \times Cste} \right)$$

où :

d3 et d3' sont exprimés en mm,

αf est l'angle de contact entre les fils métalliques externes (F3) du toron interne (TI) et les fils métalliques externes (F3') des torons externes (TE) exprimé en radian,

αt est l'angle d'hélice de chaque toron externe (TE) exprimé en radian ;

$$C_{ste} = 1500 \text{ N.mm}^2.$$

[Revendication 2] Câble (50) selon la revendication précédente, dans lequel $ES \geq 160 \text{ N.mm}^{-1}$, de préférence $ES \geq 165 \text{ N.mm}^{-1}$ et plus préférentiellement $ES \geq 170 \text{ N.mm}^{-1}$.

[Revendication 3] Câble (50) selon l'une quelconque des revendications précédentes, présentant une force à rupture $Fr = \sum_{i=1}^{Nc} \frac{F_{mi}}{m_i} \times C_{frag}$ telle que $Fr \geq 25\,000 \text{ N}$, de préférence $Fr \geq 26\,000 \text{ N}$ et plus préférentiellement $Fr \geq 28\,000 \text{ N}$.

[Revendication 4] Câble extrait (50') d'une matrice polymérique, le câble extrait (50') comprenant :

- une couche interne (CI) du câble constituée de $K=1$ toron interne (TI) à deux couches (C1, C3) comprenant :

- une couche interne (C1) constituée de $Q=2, 3$ ou 4 fils métalliques interne(s) (F1), et

- une couche externe (C3) constituée de N fils métalliques externes (F3) de diamètre $d3$ enroulés autour de la couche interne (C1),

- une couche externe (CE) du câble constituée de $L>1$ torons externes (TE) à deux couches (C1', C3') enroulés autour de la couche interne (CI) du câble comprenant :

- une couche interne (C1') constituée de $Q'=2, 3$ ou 4 fils métalliques internes (F1'), et

- une couche externe (C3') constituée de N' fils métalliques externes (F3') de diamètre $d3'$ enroulés autour de la couche interne (C1'),

caractérisé en ce que

le câble extrait (50') présente une énergie à rupture $ES' \geq 150 \text{ N.mm}^{-1}$

avec $ES' = \sum_{i=1}^{Nc} \frac{F_{mi}}{m_i} \times \sum_{i=1}^{Nc} \frac{A_{ti}}{Nc} / Nc \times C_{frag}' / D$ où:

- $\sum_{i=1}^{Nc} \frac{F_{mi}}{m_i}$ est la somme des forces à rupture pour les Nc fils en

Newton;

- $Nc = Q+N+L \times (Q'+N')$ est le nombre total de fils métalliques ;

- D est le diamètre du câble en mm ;

- $\sum_{i=1}^{Nc} \frac{A_{ti}}{Nc}$ est la somme de l'allongement total des Nc fils sans

unité ;

- C_{frag}' est le coefficient de fragilisation du câble (50') sans unité avec

$$C_{frag}' = 1 - (2 - Cp) \times \left(\frac{\sin(\alpha_f)}{d3 \times d3'} \times \frac{\left(\sum_{i=1}^{Q'+N'} \frac{F_{mi}}{m_i} \right) \times \sin(\alpha t)}{N \times C_{ste}} \right)$$

où :

C_p est le coefficient de pénétrabilité du câble

d_3 et d_3' sont exprimés en mm,

α_f est l'angle de contact entre les fils métalliques externes (F3) du toron interne (TI) et les fils métalliques externes (F3') des torons externes (TE) exprimé en radian,

α_t est l'angle d'hélice des torons externes (TE) exprimé en radian;

$C_{ste} = 1500 \text{ N.mm}^2$.

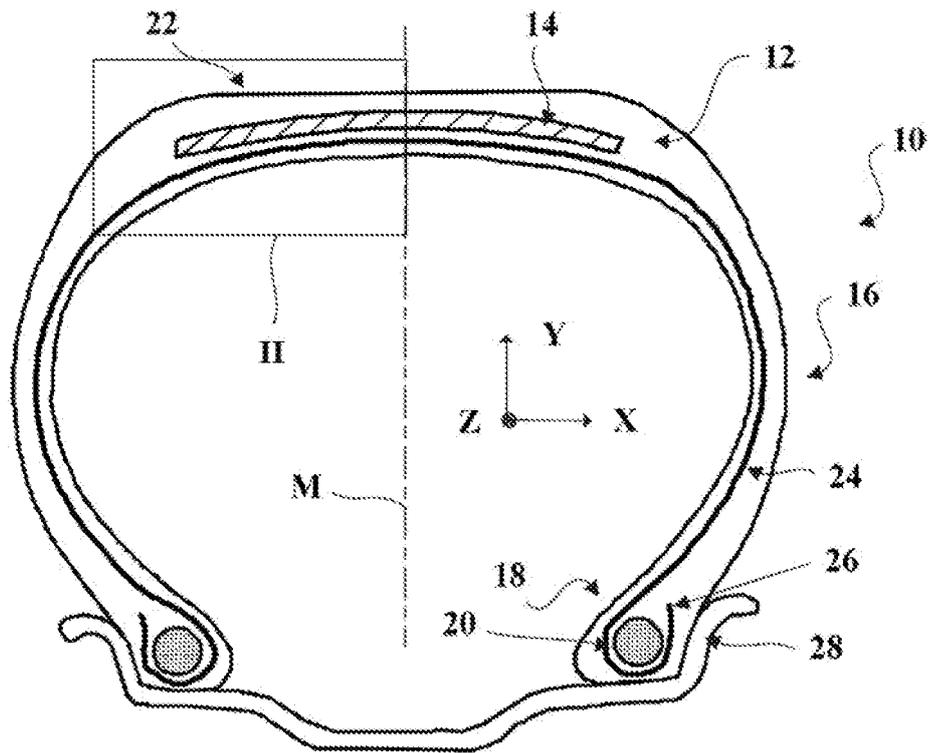
- [Revendication 5] Câble (50, 50') selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel α_f est supérieur ou égal à 0° et de préférence supérieur ou égal à 5° .
- [Revendication 6] Câble (50, 50') selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel α_f est inférieur ou égal à 25° et de préférence inférieur ou égal à 20° .
- [Revendication 7] Câble (50, 50') selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel α_t est supérieur ou égal à 0° et de préférence supérieur ou égal à 5° .
- [Revendication 8] Câble (50, 50') selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel α_t est inférieur ou égal à 20° , de préférence inférieur ou égal à 15° et plus préférentiellement inférieur ou égal à 10° .
- [Revendication 9] Câble (50, 50') selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel au moins 50% des fils métalliques, de préférence 60%, plus préférentiellement 70% des fils métalliques, et très préférentiellement chaque fil métallique du câble comprend une âme en acier présentant une composition conforme à la norme NF EN 10020 de septembre 2000 et un taux de carbone $C > 0,80\%$ et de préférence $C \geq 0,82 \%$.
- [Revendication 10] Câble (50, 50') selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel au moins 50% des fils métalliques, de préférence au moins 60%, plus préférentiellement au moins 70% des fils métalliques, et très préférentiellement chaque fil métallique du câble comprend une âme en acier présentant une composition conforme à la norme NF EN 10020 de septembre 2000 et un taux de carbone $C \leq 1,20\%$ et de préférence $C \leq 1,10\%$.
- [Revendication 11] Câble (50, 50') selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la couche externe (CE) du câble est saturée.
- [Revendication 12] Câble (50, 50') selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la couche externe (C3) du toron interne (TI) est désaturée.
- [Revendication 13] Câble (50, 50') selon l'une quelconque des revendications précédentes,

dans lequel la couche externe (C3') de chaque toron externe (TE) est désaturée.

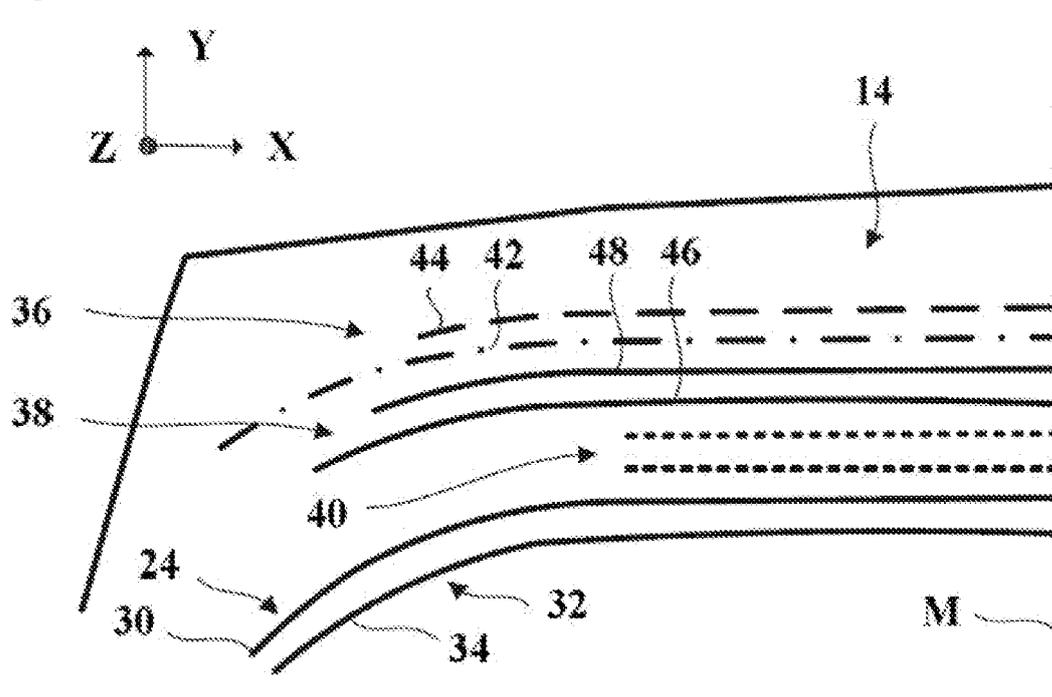
[Revendication 14] Produit renforcé (100), **caractérisé en ce qu'**il comprend une matrice polymérique (102) et au moins un câble (50) ou câble extrait (50') selon l'une quelconque des revendications précédentes.

[Revendication 15] Pneumatique (10), **caractérisé en ce qu'**il comprend au moins un câble (50) ou un câble extrait (50') selon l'une quelconque des revendications 1 à 13 ou un produit renforcé selon la revendication 14.

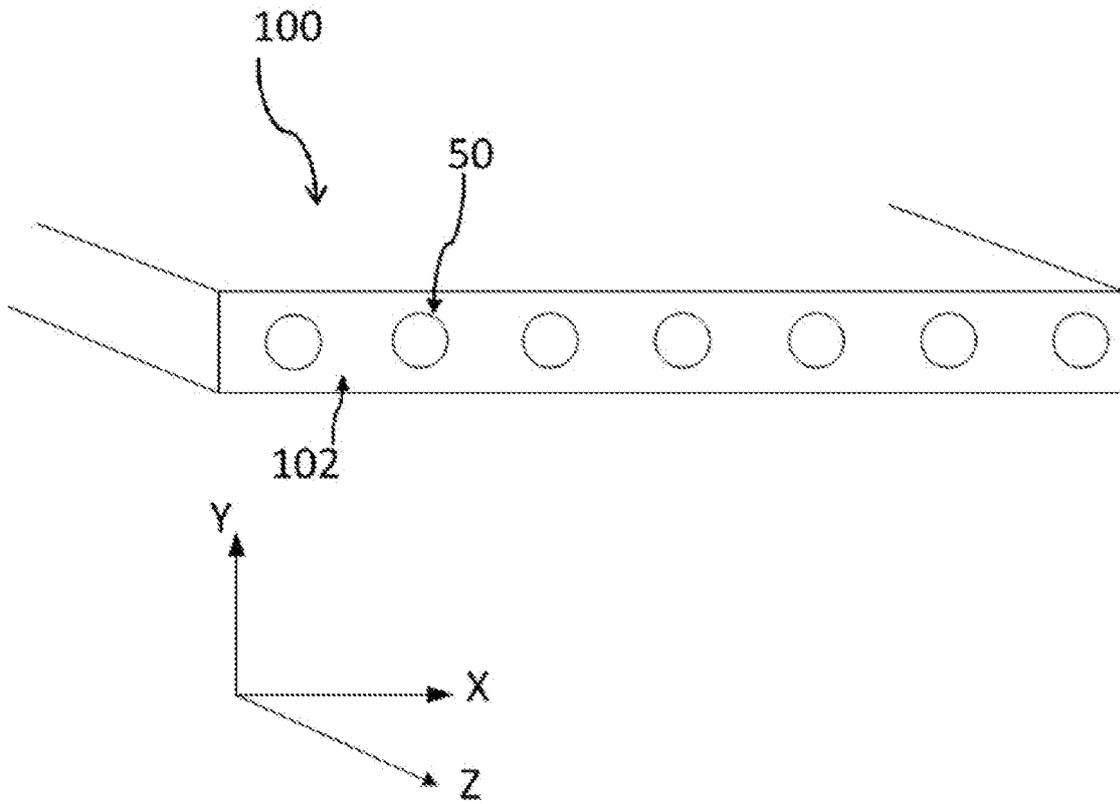
[Fig. 1]



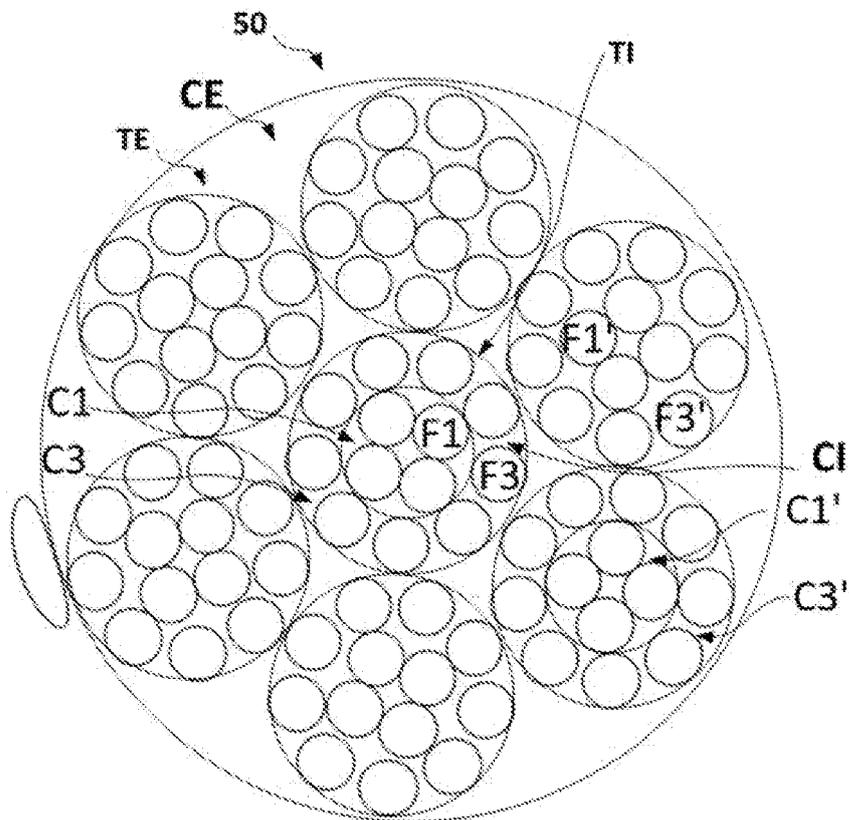
[Fig. 2]



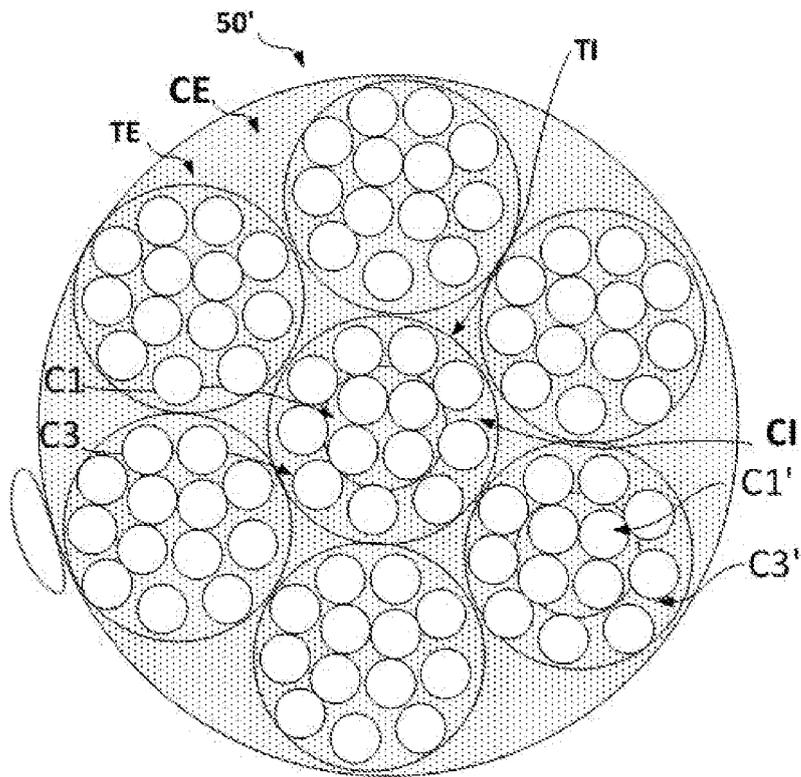
[Fig. 3]



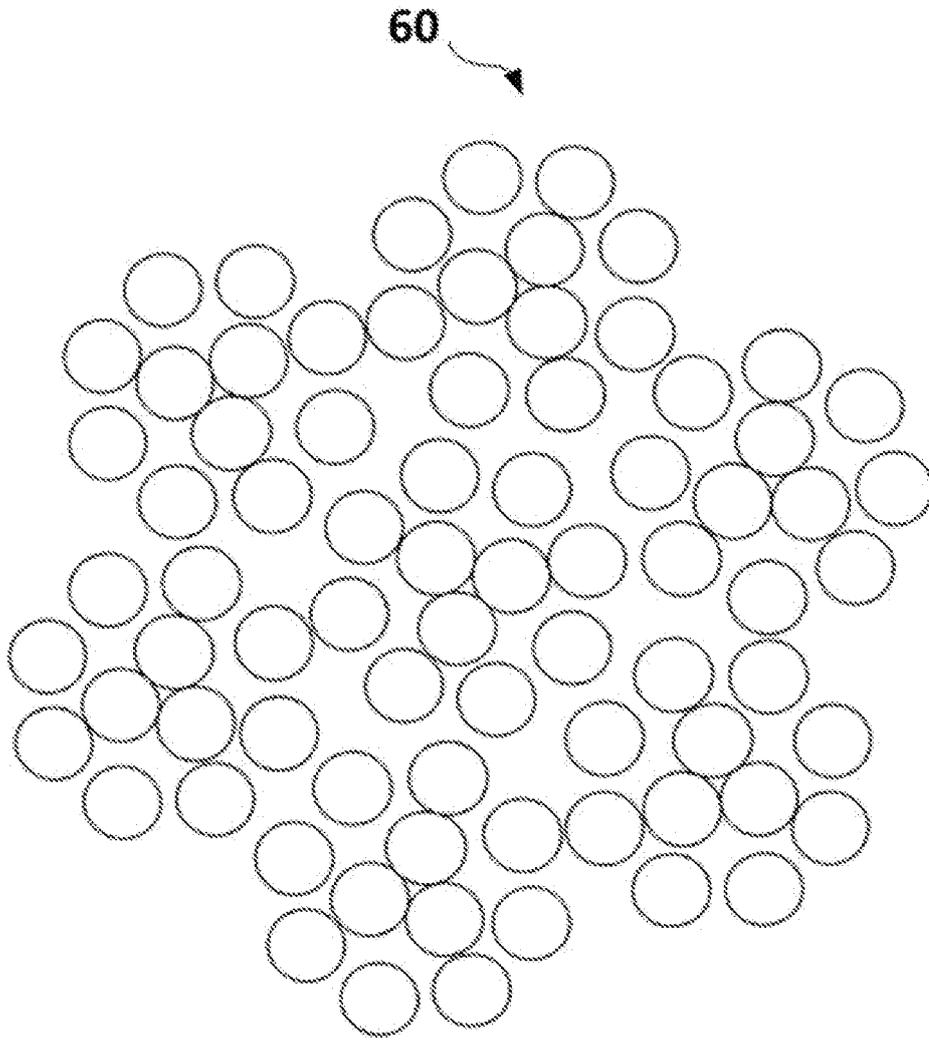
[Fig. 4]



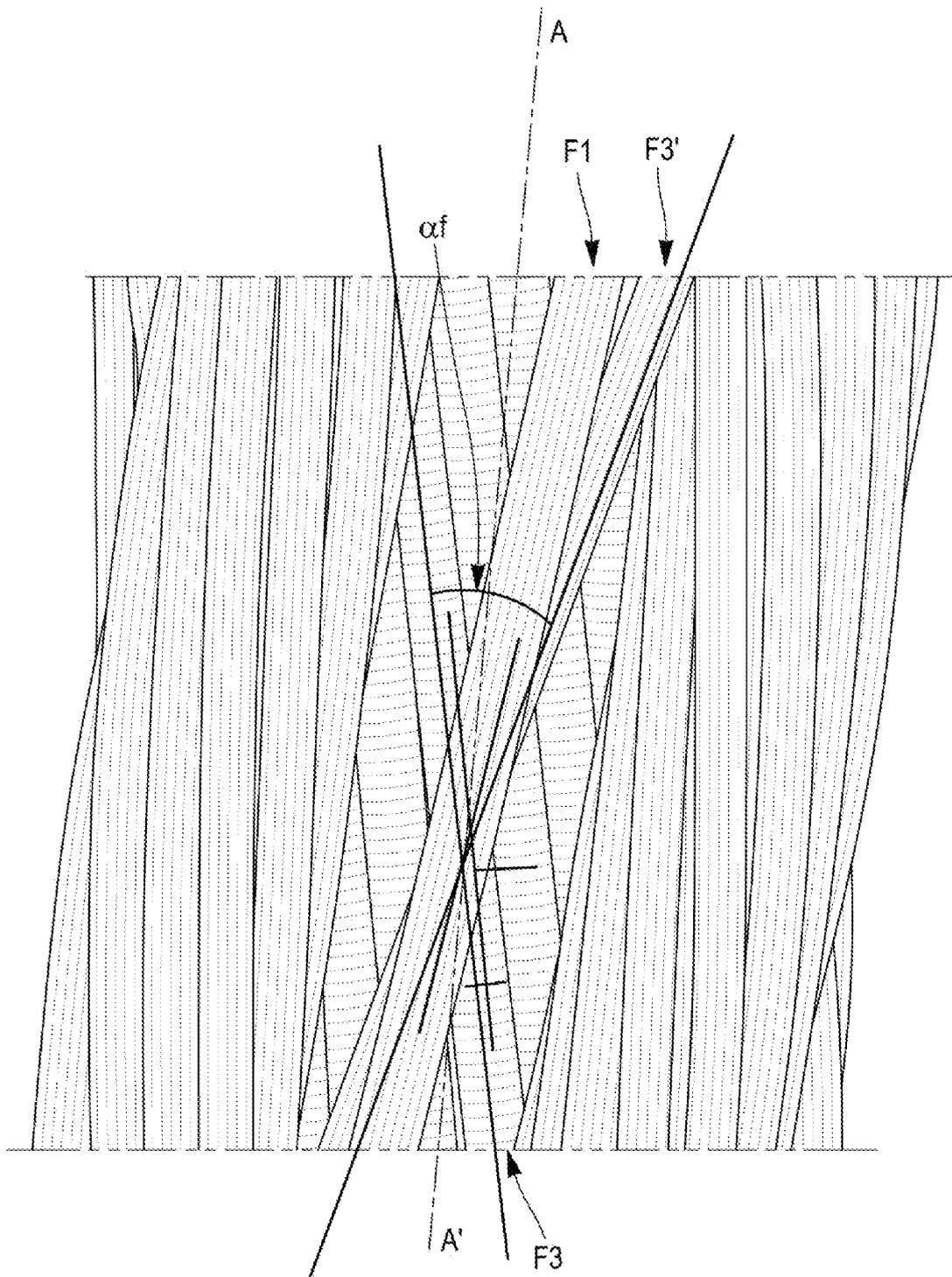
[Fig. 5]



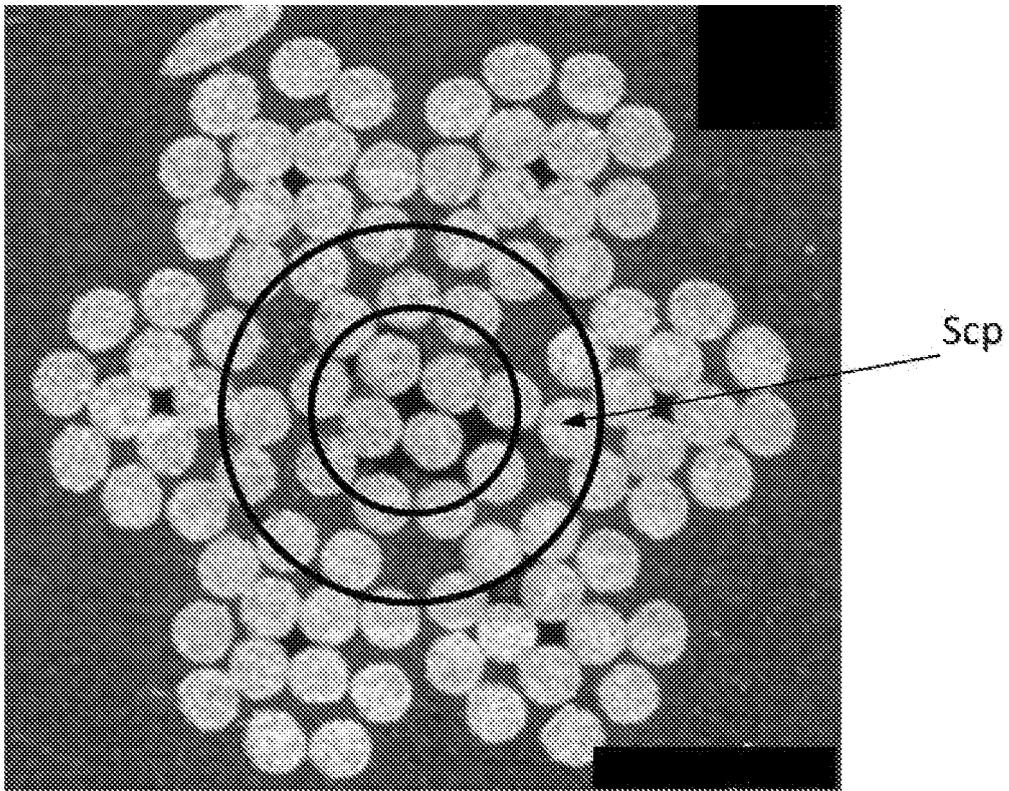
[Fig. 6]



[Fig. 7]



[Fig. 8]



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement
national

FA 876555
FR 1913078

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		
A	US 8 387 353 B2 (MULLEBROUCK RIK [BE]; CHENG ZHICHAO [CN]; BEKAERT SA NV [BE]) 5 mars 2013 (2013-03-05) * colonne 3, ligne 41 - colonne 4, ligne 15; figures 1,8 *	1,4	D07B1/06 D02G3/48
A	JP H06 173179 A (BRIDGESTONE CORP) 21 juin 1994 (1994-06-21) * alinéa [0028]; figures *	1,4	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			D07B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
15 juillet 2020		Uhlig, Robert	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date	
autre document de la même catégorie		de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1913078 FA 876555**

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 **15-07-2020**

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
US 8387353	B2	05-03-2013	CN 102224292 A	19-10-2011
			EP 2361331 A1	31-08-2011
			US 2011225944 A1	22-09-2011
			WO 2010060878 A1	03-06-2010

JP H06173179	A	21-06-1994	AUCUN	
