



Europäisches  
Patentamt  
European  
Patent Office  
Office européen  
des brevets



(11)

EP 4 087 971 B1

(12)

## FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention  
de la délivrance du brevet:

28.08.2024 Bulletin 2024/35

(21) Numéro de dépôt: 20845791.1

(22) Date de dépôt: 18.12.2020

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):  
**D07B 1/06 (2006.01)**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):  
(C-Sets disponibles)  
**D07B 1/0613; D07B 1/0646; D07B 7/025;**  
D07B 2201/2008; D07B 2201/2022;  
D07B 2201/2061; D07B 2207/4072;  
D07B 2401/2005; D07B 2401/201

(Cont.)

(86) Numéro de dépôt international:  
**PCT/FR2020/052527**

(87) Numéro de publication internationale:  
**WO 2021/140288 (15.07.2021 Gazette 2021/28)**

---

(54) **CÂBLE MULTI-TORONS À DEUX COUCHES À ÉNERGIE À RUPTURE AMÉLIORÉE ET À MODULE TANGENT BAS**

DOPPELLAGIGES MEHRADRIGES KABEL, DAS EINE VERBESSERTE BRUCHENERGIE UND EINEN NIEDRIGEN TANGENTENMODUL AUFWEIST

DOUBLE-LAYER MULTI-STRAND CABLE HAVING IMPROVED ENERGY AT BREAK AND A LOW TANGENT MODULUS

(84) Etats contractants désignés:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO  
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

- LAUBY, Lucas**  
63040 CLERMONT-FERRAND Cedex 9 (FR)
- REIX, Olivier**  
63040 CLERMONT-FERRAND Cedex 9 (FR)

(30) Priorité: 07.01.2020 FR 2000100

(74) Mandataire: **M.F.P. Michelin**

DCJ/PI - F35 - Ladoux  
23 place des Carmes-Déchaux  
63040 Clermont-Ferrand Cedex 9 (FR)

(43) Date de publication de la demande:  
16.11.2022 Bulletin 2022/46

(56) Documents cités:

**WO-A1-2016/083265 US-A- 3 555 789**

(73) Titulaire: **COMPAGNIE GENERALE DES  
ETABLISSEMENTS MICHELIN**  
63000 Clermont-Ferrand (FR)

(72) Inventeurs:

- PATAUT, Gaël**  
63040 CLERMONT-FERRAND Cedex 9 (FR)
- BARGUET, Henri**  
63040 CLERMONT-FERRAND Cedex 9 (FR)

EP 4 087 971 B1

---

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):  
(Cont.)

C-Sets  
D07B 2201/2061, D07B 2801/24

**Description**

[0001] L'invention concerne des câbles, un produit renforcé et un pneumatique comprenant ces câbles.

5 [0002] On connaît de l'état de la technique 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.

10 [0003] On connaît également de l'état de la technique le document US3555789 portant sur des câbles présentant une structure  $L>1$  torons externes enroulés autour de  $K=1$  toron interne.

15 [0004] 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 et une couche externe constituée de 8 fils métalliques externes 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 et une couche externe constituée de 8 fils métalliques externes enroulés autour de la couche interne.

20 [0005] D'une part, lors du passage du pneumatique sur des obstacles, par exemple sous la forme de cailloux, ces obstacles risquent de percer 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.

25 [0006] D'autre part, on a observé que les câbles des nappes de protection 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.

[0007] L'invention a pour objectif de réduire, voire de supprimer, le nombre de ruptures et le nombre de perforations d'un câble.

[0008] A cet effet l'invention a pour objet un câble multi-torons à deux couches comprenant :

- une couche interne du câble constituée de  $K\geq 1$  toron(s) interne(s) enroulés en hélice autour d'un axe principal (A), le ou chaque toron interne étant à une couche de fils métalliques et comprenant  $Q>1$  fils métalliques enroulés en hélice autour d'un axe (B) ; et
- une couche externe (CE) du câble constituée de  $L>1$  torons externes enroulés autour de la couche interne du câble, chaque toron externe étant à une couche de fils métalliques et comprenant  $Q'>1$  fils métalliques enroulés en hélice autour d'un axe (B'), dans lequel
- le câble présente un module tangent  $E2$  allant de 35 à 80 GPa; et
- l'indicateur d'énergie à rupture  $Er$  du câble défini par  $Er = \int_0^{At} \sigma(Ai) \times dAi$  avec  $\sigma(Ai)$  étant la contrainte de traction en MPa mesurée à l'allongement  $AI$  et  $dAI$  étant l'allongement tel que  $Er$  est strictement supérieur à  $40 \text{ MJ/m}^3$

40 [0009] Grâce à l'énergie à rupture du câble relativement élevée et à un module tangent relativement faible, le câble selon l'invention permet de réduire les perforations et donc d'allonger la durée de vie du pneumatique. En effet, les inventeurs à l'origine de l'invention ont découvert qu'un câble moins rigide que celui de l'état de la technique est plus performant à l'encontre des obstacles. Les inventeurs ont trouvé qu'il était plus efficace d'épouser l'obstacle grâce à un câble présentant une rigidité moindre plutôt que de tenter de rigidifier et de renforcer autant que possible les câbles pour s'opposer aux déformations imposées par les obstacles comme cela est enseigné d'une manière générale dans l'état de la technique. En épousant les obstacles, on diminue l'effort s'opposant aux obstacles et donc le risque de percer le pneumatique. Cet effet de diminution de la rigidité est illustré sur la figure 7 où sous la contrainte le câble selon l'invention présente une bonne déformabilité sous faible charge grâce au jeu radial des fils.

45 [0010] Grâce à l'énergie à rupture du câble relativement élevée et à un module tangent relativement faible, le câble selon l'invention permet 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 représentée dans la présente demande par l'aire sous la courbe de contrainte en fonction de l'allongement comme représentée en partie sur la figure 4. En effet, les câbles de l'état de la technique présentent soit une force à rupture relativement élevée mais un allongement à rupture relativement faible, soit un allongement à rupture relativement élevé mais une force à rupture relativement faible. Dans les deux cas, les câbles de l'état de la technique rompent sous un indicateur d'énergie à rupture relativement faible. Le câble selon l'invention, du fait de son module relativement faible permet de repousser l'allongement à rupture du fait d'une pente de la courbe contrainte-allongement dans le domaine élastique relativement faible ce qui permet d'augmenter l'énergie à rupture.

**[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]** L'indicateur d'énergie à rupture Er du câble est déterminé en calculant l'aire sous la courbe de traction contrainte

en fonction de l'allongement par la relation  $Er = \int_0^{At} \sigma(Ai) \times dAi$ . Cet indicateur d'énergie à rupture représente une densité volumique d'énergie en MJ/m<sup>3</sup>. On trace une courbe contrainte-allongement en appliquant la norme ASTM D 885/D 885M - 10a de 2014. La méthode des rectangles est classiquement employée pour atteindre cette aire : la contrainte de traction sigma(Ai) étant exprimée en MPa mesurée à l'allongement Ai exprimé en % sans unité ; pour i=0 : Ai=0 = A0 = 0% d'allongement et pour i=t : Ai=t = At : allongement à rupture totale du câble. L'indicateur d'énergie à rupture Er est ainsi la somme de  $(1/2(\sigma(Ai) + \sigma(Ai+1)) \times (Ai+1 - Ai))$  pour i allant de 0 à t. Pour cette intégration, l'échantillonnage des rectangles est défini de telle sorte que les largeurs définies par (Ai+1 - Ai) sont sensiblement égales à 0.025% soit 4 rectangles pour 0.1% d'allongement tel que représenté sur la figure 4.

**[0013]** Le module tangent E2 est calculé comme suit sur la courbe force-allongement obtenue dans les conditions de la norme ASTM D 885/D 885M - 10a de 2014: t E2 correspond au module tangent maximum du câble sur la courbe force-allongement.

**[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. La couche externe du câble est enroulée en hélice autour de la couche interne du câble au contact de la couche interne du câble.

**[0015]** De façon avantageuse, le sens d'enroulement de chaque toron interne et de chaque toron externe est opposé au sens d'enroulement du câble.

**[0016]** Par sens d'enroulement d'une couche de torons, on entend le sens formé par les torons par rapport à l'axe du câble. Le sens d'enroulement est communément désigné par la lettre soit Z, soit S.

**[0017]** Les sens d'enroulement des torons sont déterminés conformément à la norme ASTM D2969-04 de 2014.

**[0018]** Chaque toron interne et externe est à une couche de fils, c'est-à-dire qu'il comprend un assemblage constitué d'une couche de fils, ni plus ni moins, c'est-à-dire que l'assemblage a une couche de fils, pas zéro, pas deux, mais uniquement une.

**[0019]** Dans le câble selon l'invention, chaque toron interne et externe est à simple hélice. Par définition, un toron à simple hélice est un toron dans lequel l'axe de chaque élément filaire métallique de la couche décrit une unique hélice, contrairement à un toron à double hélice dans lequel l'axe de chaque élément filaire métallique décrit une première hélice autour de l'axe du toron et une deuxième hélice autour d'une hélice décrite par l'axe du toron. En d'autres termes, lorsque le toron s'étend selon une direction sensiblement rectiligne, le toron comprend une unique couche d'éléments filaires métalliques enroulés ensemble en hélice, chaque élément filaire métallique de la couche décrivant une trajectoire en forme d'hélice autour d'un axe principal sensiblement parallèle à la direction sensiblement rectiligne de sorte que, dans un plan de coupe sensiblement perpendiculaire à l'axe principal, la distance entre le centre de chaque élément filaire métallique de la couche et l'axe principal soit sensiblement constante et égale pour tous les éléments filaires métalliques de la couche. Au contraire, lorsqu'un toron à double hélice s'étend selon une direction sensiblement rectiligne, la distance entre le centre de chaque élément filaire métallique de la couche et la direction sensiblement rectiligne est différente pour tous les éléments filaires métalliques de la couche.

**[0020]** Par élément filaire, on entend un élément s'étendant longitudinalement selon un axe principal et présentant une section perpendiculaire à l'axe principal dont la plus grande dimension G est relativement faible par rapport à la dimension L selon l'axe principal. Par relativement faible, on entend que L/G est supérieur ou égal à 100, de préférence supérieur ou égal à 1000. Cette définition couvre aussi bien les éléments filaires de section circulaire que les éléments filaires de section non circulaire, par exemple de section polygonale ou oblongue. De façon très préférée, chaque élément filaire métallique présente une section circulaire.

**[0021]** Par métallique, on entend par définition un élément filaire constitué majoritairement (c'est-à-dire pour plus de 50% de sa masse) ou intégralement (pour 100% de sa masse) d'un matériau métallique. Chaque élément filaire métallique est préférentiellement en acier, plus préférentiellement en acier perlitique ou ferrito-perlitique au carbone, appelé couramment par l'homme du métier acier au carbone, ou encore en acier inoxydable (par définition, acier comportant au moins 10,5% de chrome).

**[0022]** De préférence, les fils métalliques et les torons ne subissent pas de préformation. En d'autres termes, le câble est obtenu par un procédé dépourvu d'étapes de préformation individuelle de chacun des éléments filaires métalliques et de chacun des torons.

**[0023]** Avantageusement, l'indicateur d'énergie à rupture Er du câble est supérieur ou égal à 42 MJ/m<sup>3</sup>, de préférence supérieur ou égal à 50 MJ/m<sup>3</sup> et plus préférentiellement supérieur ou égal à 60 MJ/m<sup>3</sup>.

[0024] Avantageusement, l'indicateur d'énergie à rupture  $Er$  du câble est inférieur ou égal à 200 MJ/m<sup>3</sup>

[0025] Avantageusement, le module tangent  $E2$  va de 40 à 78 GPa et de préférence de 40 à 75 GPa.

[0026] Ainsi le câble selon l'invention présente une rigidité minimum pour permettre la reprise ou la transmission d'effort.

[0027] L'invention a également pour objet un câble multitorons à deux couches extrait d'une matrice polymérique, le câble extrait comprenant :

- une couche interne du câble constituée de  $K \geq 1$  toron(s) interne(s) enroulés en hélice autour d'un axe principal (A), le ou chaque toron interne étant à une couche de fils métalliques et comprenant  $Q > 1$  fils métalliques enroulés en hélice autour d'un axe principal (B) ; et
- une couche externe du câble constituée de  $L > 1$  torons externes enroulés autour de la couche interne du câble, chaque toron externe étant à une couche de fils métalliques et comprenant  $Q' > 1$  fils métalliques enroulés en hélice autour d'un axe (B'),

dans lequel :

- le câble extrait présente un module tangent  $E2'$  allant de 20 à 80 GPa ;

- l'indicateur d'énergie à rupture  $Er'$  du câble extrait défini par  $Er' = \int_0^{At'} \sigma(Ai) \times dAi$  avec  $\sigma(Ai)$  étant la contrainte de traction en MPa mesurée à l'allongement  $Ai$  et  $dAi$  étant l'allongement tel que  $Er'$  est strictement supérieur à 40 MJ/m<sup>3</sup>

[0028] De préférence, la matrice polymérique est une matrice élastomérique.

[0029] La matrice polymérique, de préférence élastomérique, est à base d'une composition polymérique, de préférence élastomérique.

[0030] Par matrice polymérique, on entend une matrice comprenant au moins un polymère. La matrice polymérique est ainsi à base d'une composition polymérique.

[0031] Par matrice élastomérique, on entend une matrice comprenant au moins un élastomère. La matrice élastomérique préférentielle est ainsi à base de la composition élastomérique.

[0032] 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.

[0033] 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

[0034] 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.

[0035] Les valeurs des caractéristiques décrites dans la présente demande pour le câble extrait sont mesurées sur ou déterminées à partir de câbles extrait 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 peu se faire par décorticage au moyens 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.

[0036] De préférence, le module tangent  $E2'$  va de 22 à 70 GPa, de préférence de 22 à 50 GPa et plus préférentiellement de 22 à 40 GPa.

[0037] De préférence, l'indicateur d'énergie à rupture  $Er'$  du câble est supérieur ou égal à 50 MJ/m<sup>3</sup>, de préférence supérieur ou égal à 55 MJ/m<sup>3</sup> et plus préférentiellement supérieur ou égal à 60 MJ/m<sup>3</sup>

[0038] Avantageusement, le câble extrait selon l'invention présente un allongement total  $At'$  déterminé par la norme

ASTM D2969-04 de 2014 tel que  $At' \geq 5,0\%$  et de préférence  $At' \geq 6,0\%$ .

**[0039]** 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 câble testé de façon à obtenir une courbe contrainte-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 câble sur la courbe contrainte-allongement, c'est-à-dire le point auquel la charge croît jusqu'à une valeur maximale de contrainte puis décroît brusquement après la rupture. Lorsque la décroissance par rapport à la contrainte dépasse un certain seuil cela signifie que la rupture du câble a eu lieu.

**[0040]** Les caractéristiques avantageuses décrites ci-dessous s'appliquent indifféremment au câble tel que défini ci-dessus et au câble extrait.

**[0041]** Avantageusement, les éléments filaires métalliques définissant une voûte interne (59 ; 59') de chaque toron interne et externe respectivement de diamètre  $D_{vti}$ ,  $D_{vte}$ , chaque élément filaire métallique présentant respectivement un diamètre  $D_{fi}$ ,  $D_{fe}$  et respectivement un rayon de courbure d'hélice  $R_{fi}$ ,  $R_{fe}$ , définis par  $R_{fi}=P_i/(\pi \times \sin(2\alpha_i))$  avec  $P_i$  le pas de chaque élément filaire métallique du toron interne exprimé en millimètres et  $\alpha_i$  l'angle d'hélice de chaque élément filaire métallique et  $R_{fe}=P_e/(\pi \times \sin(2\alpha_e))$  avec  $P_e$  le pas de chaque élément filaire métallique du toron externe exprimé en millimètres et  $\alpha_e$  l'angle d'hélice de chaque élément filaire métallique avec  $D_{vti}$ ,  $D_{vte}$ ,  $D_{fi}$ ,  $D_{fe}$  et  $R_{fi}$ ,  $R_{fe}$  étant exprimés en millimètres, le câble satisfait les relations suivantes :

$$9 \leq R_{fi} / D_{fi} \leq 30, \text{ et } 1,30 \leq D_{vti} / D_{fi} \leq 4,50$$

et

$$9 \leq R_{fe} / D_{fe} \leq 30, \text{ et } 1,30 \leq D_{vte} / D_{fe} \leq 4,50.$$

**[0042]** La voûte de chaque toron interne et externe est délimitée par les fils métalliques et correspond au volume délimité par un cercle théorique, d'une part, radialement intérieur à chaque élément filaire métallique et, d'autre part, tangent à de chaque élément filaire métallique. Le diamètre de ce cercle théorique est égal au diamètre de voûte  $D_{vti}$  pour les fils du toron interne et  $D_{vte}$  pour les fils du toron externe.

**[0043]** L'angle d'hélice de chaque élément filaire métallique du toron interne  $\alpha_{fi}$  est une grandeur bien connue de l'homme du métier et peut être déterminé par le calcul suivant :  $\tan \alpha_{fi} = 2 \times \pi \times R_{fi}/P_i$ , formule dans laquelle  $P_i$  est le pas exprimé en millimètres dans lequel chaque toron interne est enroulé,  $R_{fi}$  est le rayon d'hélice de chaque toron interne exprimé en millimètres, et  $\tan$  désigne la fonction tangente.  $\alpha$  est exprimé en degré. De la même façon pour les fils métalliques du toron externe  $\alpha_{fe} = 2 \times \pi \times R_{fe}/P_e$ .

**[0044]** Le diamètre d'hélice  $D_{hi}$ , exprimé en millimètres, est calculé selon la relation  $D_{hi}=P_i \times \tan(\alpha_{fi}) / \pi$  dans laquelle  $P_i$  est le pas exprimé en millimètres auquel chaque élément filaire métallique du toron interne est enroulé,  $\alpha_{fi}$  est l'angle d'hélice de chaque élément filaire métallique du toron interne déterminé ci-dessus et  $\tan$  la fonction tangente. Le diamètre d'hélice  $D_h$  correspond au diamètre du cercle théorique passant par les centres des éléments filaires métalliques de la couche dans un plan perpendiculaire à l'axe principal du câble. De la même façon pour les fils métalliques du toron externe,  $D_{he}=P_e \times \tan(\alpha_{fe}) / \pi$ .

**[0045]** Le diamètre de voûte du toron interne  $D_{vti}$ , exprimé en millimètres, est calculé selon la relation  $D_{vti}=D_{hi}-D_{fi}$  dans laquelle  $D_{fi}$  est le diamètre de chaque élément filaire métallique du toron interne et  $D_{hi}$  le diamètre d'hélice, tous deux exprimés en millimètres. De la même façon, le diamètre de voûte du toron externe  $D_{vte}=D_{he}-D_{fe}$ .

**[0046]** Le rayon de courbure  $R_{fi}$  pour les fils du toron interne, exprimé en millimètres, est calculé selon la relation  $R_{fi}=P_i/(\pi \times \sin(2\alpha_{fi}))$  dans laquelle  $P_i$  est le pas exprimé en millimètres de chaque élément filaire métallique du toron interne,  $\alpha_{fi}$  est l'angle d'hélice de chaque élément filaire métallique et  $\sin$  la fonction sinus. De la même façon, le rayon de courbure  $R_{fe}$  pour les fils du toron externe est calculé selon la relation  $R_{fe}=P_e/(\pi \times \sin(2\alpha_{fe}))$ .

**[0047]** On rappelle que le pas auquel chaque élément filaire métallique est enroulé est la longueur parcourue par cet élément filaire, mesurée parallèlement à l'axe du câble dans lequel il se trouve, au bout de laquelle l'élément filaire ayant ce pas effectue un tour complet autour dudit axe du câble.

**[0048]** Dans un mode de réalisation avantageux, tous les éléments filaires métalliques du ou de chaque toron interne présentent le même diamètre  $D_{fi}$ .

**[0049]** Dans un mode de réalisation avantageux, tous les éléments filaires métalliques de chaque toron externe présentent le même diamètre  $D_{fe}$ .

**[0050]** Dans un mode de réalisation avantageux, tous les éléments filaires métalliques du ou de chaque toron interne et de chaque toron externe présentent le même diamètre  $D_{fi}=D_{fe}$ .

**[0051]** Dans le mode de réalisation, où  $K>1$ , les torons internes définissent une voûte interne du câble de diamètre  $D_{vi}$ , chaque toron interne présentant un diamètre  $D_{ti}$  et un rayon de courbure d'hélice  $R_{ti}$  avec  $R_{ti}=P_i/(\pi$

$\times \text{Sin}(2\alpha_i)$  avec  $P_{ti}$  le pas de chaque toron interne exprimé en millimètres et  $\alpha_i$  l'angle d'hélice de chaque toron interne,  $D_{vi}$ ,  $D_{ti}$ , et  $R_{ti}$  étant exprimés en millimètres, le câble satisfaisant les relations suivantes :  $25 \leq R_{ti} / D_{ti} \leq 180$  et  $0,10 \leq D_{vi} / D_{ti} \leq 0,50$ .

**[0052]** Le câble selon l'invention présente une excellente compressibilité longitudinale et, toutes choses étant égales par ailleurs, un diamètre relativement faible.

**[0053]** D'une part, les inventeurs à l'origine de l'invention émettent l'hypothèse que, du fait d'un rayon de courbure  $R_{ti}$  suffisamment élevé par rapport au diamètre  $D_{ti}$  de chaque toron interne, le câble est suffisamment aéré, réduisant ainsi le risque de flambement, du fait de l'éloignement relativement important de chaque toron interne de l'axe longitudinal du câble, éloignement permettant aux torons internes une accommodation, de par leur hélice, des déformations de compression longitudinale relativement élevées.

**[0054]** D'autre part, pour un rayon de courbure  $R_{ti}$  de chaque toron interne trop élevé, le câble selon l'invention présenterait une rigidité longitudinale en compression insuffisante pour assurer un rôle de renforcement, par exemple de pneumatiques.

**[0055]** De plus, pour un diamètre  $D_{vi}$  de voûte interne trop élevé, le câble présenterait, relativement au diamètre des torons internes, un diamètre trop élevé. Les valeurs des caractéristiques  $D_{ti}$ ,  $D_{vi}$  et  $R_{ti}$  ainsi que des autres caractéristiques décrites ci-dessous sont mesurées sur ou déterminées à partir des câbles soit directement après fabrication, c'est-à-dire avant toute étape de noyage dans une matrice élastomérique, soit extrait d'une matrice élastomérique, par exemple d'un pneumatique, et ayant alors subit une étape de nettoyage durant laquelle on retire du câble toute matrice élastomérique, notamment tout matériau présent à l'intérieur du câble. Pour garantir un état d'origine, l'interface adhésive entre chaque élément filaire métallique et la matrice élastomérique doit être supprimée, par exemple par procédé électro-chimique dans un bain de carbonate de sodium. Les effets associés à l'étape de conformation du procédé de fabrication du pneumatique décrits ci-dessous, notamment l'allongement des câbles, sont annulés par l'extraction de la nappe et du câble qui reprennent, lors de l'extraction, sensiblement leurs caractéristiques d'avant l'étape de conformation.

**[0056]** La voûte du câble selon l'invention est délimitée par les torons internes et correspond au volume délimité par un cercle théorique, d'une part, radialement intérieur à chaque toron interne et, d'autre part, tangent à chaque toron interne. Le diamètre de ce cercle théorique est égal au diamètre de voûte  $D_{vi}$ .

**[0057]** L'angle d'hélice de chaque toron interne  $\alpha_i$  est une grandeur bien connue de l'homme du métier et peut être déterminé par le calcul suivant :  $\tan \alpha_i = 2 \times \pi \times R_{ti} / P_{ti}$ , formule dans laquelle  $P_{ti}$  est le pas exprimé en millimètres dans lequel chaque toron interne est enroulé,  $R_{ti}$  est le rayon d'hélice de chaque toron interne exprimé en millimètres, et  $\tan$  désigne la fonction tangente.  $\alpha_i$  est exprimé en degré.

**[0058]** Le diamètre d'hélice  $D_i$ , exprimé en millimètres, est calculé selon la relation  $D_i = P_{ti} \times \text{Tan}(\alpha_i) / \pi$  dans laquelle  $P_{ti}$  est le pas exprimé en millimètres auquel chaque toron interne est enroulé,  $\alpha_i$  est l'angle d'hélice de chaque toron déterminé ci-dessus et  $\text{Tan}$  la fonction tangente. Le diamètre d'hélice  $D_i$  correspond au diamètre du cercle théorique passant par les centres des torons interne de la couche dans un plan perpendiculaire à l'axe principal du câble.

**[0059]** Le diamètre de voûte  $D_{vi}$ , exprimé en millimètres, est calculé selon la relation  $D_{vi} = D_i - D_{ti}$  dans laquelle  $D_{ti}$  est le diamètre de chaque toron interne et  $D_i$  le diamètre d'hélice, tous deux exprimés en millimètres.

**[0060]** Le rayon de courbure  $R_{ti}$ , exprimé en millimètres, est calculé selon la relation  $R_{ti} = P_{ti} / (\pi \times \text{Sin}(2\alpha_i))$  dans laquelle  $P_{ti}$  est le pas exprimé en millimètres de chaque toron interne,  $\alpha_i$  est l'angle d'hélice de chaque toron et  $\text{Sin}$  la fonction sinus.

**[0061]** On rappelle que le pas auquel chaque toron interne est enroulé est la longueur parcourue par cet élément filaire, mesurée parallèlement à l'axe du câble dans lequel il se trouve, au bout de laquelle toron ayant ce pas effectue un tour complet autour dudit axe du câble.

**[0062]** Les caractéristiques optionnelles décrites ci-dessous pourront être combinées les unes avec les autres dans la mesure où de telles combinaisons sont techniquement compatibles.

**[0063]** L'invention a également pour objet un procédé de fabrication d'un câble comprenant une étape de fabrication du ou des  $K$  torons interne par :

- une étape de fourniture d'un assemblage transitoire comprenant une couche constituée de  $M' > 1$  fils métalliques enroulés en hélice autour d'un noyau transitoire (;
- une étape de séparation de l'assemblage transitoire entre :
- un premier assemblage fractionné comprenant une couche constituée de  $M1' \geq 1$  fil(s) métallique(s) enroulé(s) en hélice, le ou les  $M1'$  fil(s) métallique(s) étant issu(s) de la couche constituée de  $M' > 1$  fils métalliques de l'assemblage transitoire ,
- un deuxième assemblage fractionné comprenant une couche constituée de  $M2' > 1$  fils métalliques enroulés en hélice, les  $M2'$  fils métalliques étant issus de la couche constituée de  $M' > 1$  fils métalliques de l'assemblage transitoire,
- le noyau transitoire ou un ou plusieurs ensembles comprenant le noyau transitoire,
- une étape de râssemblage du premier assemblage fractionné avec le deuxième assemblage fractionné pour former un toron interne à une couche de fils métalliques et comprenant  $Q > 1$  fils métalliques ;

- une étape de fabrication des L torons externes par :
- une étape de fourniture d'un assemblage transitoire comprenant au moins une couche constituée de  $N' > 1$  fils métalliques enroulés en hélice autour d'un noyau transitoire;
- une étape de séparation de l'assemblage transitoire entre :
- 5 - un premier assemblage fractionné comprenant une couche constituée de  $N1' \geq 1$  fil(s) métallique(s) enroulé(s) en hélice, le ou les  $N1'$  fil(s) métallique(s) étant issu(s) de la couche constituée de  $N' > 1$  fils métalliques de l'assemblage transitoire,
- un deuxième assemblage fractionné comprenant une couche constituée de  $N2' > 1$  fils métalliques enroulés en hélice, les  $N2'$  fils métalliques étant issus de la couche constituée de  $N' > 1$  fils métalliques de l'assemblage transitoire,
- 10 - le noyau transitoire ou un ou plusieurs ensembles comprenant le noyau transitoire,
- une étape de réassemblage du premier assemblage fractionné avec le deuxième assemblage fractionné pour former un toron externe à une couche de fils métalliques et comprenant  $Q' > 1$  fils métalliques ;
- une étape d'assemblage par câblage du ou des K torons internes pour former la couche interne puis des L torons externes autour de la couche interne pour former le câble.

15 [0064] Chaque toron est fabriqué conformément à un procédé et en mettant en oeuvre une installation décrits dans les documents WO2016083265 et WO2016083267. Un tel procédé mettant en oeuvre une étape de fractionnement est à distinguer d'un procédé de câblage classique comprenant une unique étape d'assemblage dans lequel les éléments filaires métalliques sont enroulés en hélice, l'étape d'assemblage étant précédée d'une étape de préformation individuelle de chaque élément filaire métallique afin notamment d'augmenter la valeur de l'allongement structural. De tels procédés et installations sont décrits dans les documents EP0548539, EP1000194, EP0622489, WO2012055677, JP2007092259, WO2007128335, JPH06346386 ou encore EP0143767. Lors de ces procédés, afin d'obtenir l'allongement structural le plus élevé possible, on préforme individuellement les monofilaments métalliques. Toutefois, cette étape de préformation individuelle des monofilaments métalliques, qui nécessite une installation particulière, d'une part, rend le procédé relativement peu productif par rapport à un procédé dépourvu d'étape de préformation individuelle sans pour autant permettre d'atteindre des allongements structuraux élevés et, d'autre part, altère les monofilaments métalliques ainsi préformés en raison des frottements avec les outils de préformation. Une telle altération crée des amorces de ruptures en surface des monofilaments métalliques et est donc néfaste pour l'endurance des monofilaments métalliques, notamment pour leur endurance en compression. L'absence ou la présence de telles marques de préformation est observable au microscope électronique à l'issue du procédé de fabrication, ou bien plus simplement, en connaissant le procédé de fabrication du câble.

30 [0065] En raison du procédé utilisé, chaque élément filaire métallique du câble est dépourvu de marque de préformation. De telles marques de préformation comprennent notamment des méplats. Les marques de préformations comprennent également des fissures s'étendant dans des plans de coupe sensiblement perpendiculaires à l'axe principal selon lequel s'étend chaque élément filaire métallique. De telles fissures s'étendent, dans un plan de coupe sensiblement perpendiculaire à l'axe principal, depuis une surface radialement externe de chaque élément filaire métallique radialement vers l'intérieur de chaque élément filaire métallique. Comme décrits ci-dessus, de telles fissures sont initiées par les outils mécaniques de préformation en raison des efforts en flexion, c'est-à-dire perpendiculairement à l'axe principal de chaque élément filaire métallique, ce qui les rend très néfastes pour l'endurance. A l'inverse, dans le procédé décrit dans 40 WO2016083265 et WO2016083267 dans lequel les éléments filaires métalliques sont préformés collectivement et simultanément sur un noyau transitoire, les efforts de préformations sont exercés en torsion et donc non perpendiculairement à l'axe principal de chaque élément filaire métallique. Les éventuelles fissures créées s'étendent non pas radialement depuis la surface radialement externe de chaque élément filaire métallique radialement vers l'intérieur de chaque élément filaire métallique mais le long de la surface radialement externe de chaque élément filaire métallique ce qui les rend peu néfastes pour l'endurance.

45 [0066] Avantageusement, le câble présente un diamètre  $D$  tel que  $D \leq 8,00$  mm et de préférence  $D \leq 7,00$  mm.

50 [0067] Le diamètre ou diamètre apparent, noté  $D$ , est mesuré en calant le câble entre deux barreaux parfaitement rectilignes de longueur 200 mm et en mesurant l'espacement dans lequel le câble est encastré moyennant le comparateur décrit ci-après. On peut citer par exemple le modèle JD50/25 de la marque KAEFER permettant d'atteindre une précision de 1/100 de millimètre, équipé de touche type a, et ayant une pression de contact proche de 0,6N. Le protocole de mesure consiste en trois répétitions d'une série de trois mesures (effectuées perpendiculairement à l'axe du câble et sous tension nulle).

55 [0068] Dans un mode de réalisation, chaque élément filaire métallique comprend un unique monofilament métallique. Ici, chaque élément filaire métallique est avantageusement constitué d'un monofilament métallique. Dans une variante de ce mode de réalisation, le monofilament métallique est directement revêtu d'une couche d'un revêtement métallique comprenant du cuivre, du zinc, de l'étain, du cobalt ou un alliage de ces métaux, par exemple le laiton ou le bronze. Dans cette variante, chaque élément filaire métallique est alors constitué du monofilament métallique, par exemple en acier, formant une âme, directement revêtu de la couche de revêtement métallique.

[0069] Dans ce mode de réalisation, chaque monofilament élémentaire métallique est, comme décrit-ci-dessus, de préférence en acier, et présente une résistance mécanique allant de 1000 MPa à 5000 MPa. De telles résistances mécaniques correspondent aux grades d'acier couramment rencontrés dans le domaine du pneumatique, à savoir, les grades NT (Normal Tensile), HT (High Tensile), ST (Super Tensile), SHT (Super High Tensile), UT (Ultra Tensile), UHT (Ultra High Tensile) et MT (Mega Tensile), l'utilisation de résistances mécaniques élevées permettant éventuellement un renforcement amélioré de la matrice dans laquelle le câble est destiné à être noyé et un allègement de la matrice ainsi renforcée.

[0070] Avantageusement, la couche interne est constituée de K=1, 2, 3 ou 4 torons internes, de préférence K=1, 2 ou 3 et plus préférentiellement K=1 ou 3.

[0071] Avantageusement, la couche externe est constituée de L=5, 6, 7, 8, 9 ou 10 torons externes, de préférence L=6, 7, 8 ou 9 et plus préférentiellement L=6 ou 9.

[0072] Dans une première variante, 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. Ici le bas module E2 va permettre de soulager les pressions de contact vers le toron interne tout en assurant une bonne énergie à rupture.

[0073] Dans une deuxième variante, K=2 et L=7 ou 8.

[0074] Dans une troisième variante, K=3 et L=7, 8 ou 9, de préférence K=3, L=9. Dans le cas où L=9, on favorise la force à rupture et donc l'énergie à rupture sans fragiliser le câble de par le module E2 relativement bas qui va permettre de soulager les pressions de contact entre les torons internes.

[0075] Dans une quatrième variante, K=4 et L=7, 8, 9 ou 10, de préférence K=4, L=9 ou 10.

#### Toron interne du câble selon l'invention

[0076] Dans un mode de réalisation préféré, Q= 3 à 12, de préférence Q=5, 6, 7 ou 11. 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.

[0077] Dans une première variante, K= 1, Q=5.

[0078] Dans une deuxième variante, K=3, Q=11.

#### Toron externe du câble selon l'invention

[0079] Dans un mode de réalisation préféré, Q'= 3 à 12, de préférence Q'=5, 6, 7 ou 11. 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 externe (Q'>1), on réduit ce risque, les efforts de compression étant alors répartis sur la pluralité de fils de la couche interne.

[0080] Dans une première variante, L= 6, Q'=5.

[0081] Dans une deuxième variante, L=9, Q'=11.

[0082] Avantageusement, K= 1, Q=5 et L= 6, Q'=5.

[0083] Avantageusement, K=3, Q=11 et L=9, Q'=11.

[0084] Avantageusement, chaque fil métallique présente respectivement un diamètre allant de 0,10 mm à 0,60 mm, de préférence de 0,12 mm à 0,50 mm et plus préférentiellement de 0,15 mm à 0,46 mm.

[0085] Avantageusement, tous les fils métalliques présentent le même diamètre.

[0086] Dans un premier mode de réalisation permettant un râssemblage partiel des M' éléments filaires métalliques du ou des torons internes, l'étape de séparation et l'étape de râssemblage sont réalisées de sorte que  $M1'+M2' < M'$ .

[0087] Dans un deuxième mode de réalisation permettant un râssemblage total des M' éléments filaires métalliques du ou des torons internes, l'étape de séparation et l'étape de râssemblage sont réalisées de sorte que  $M1'+M2' = M'$ .

[0088] Dans un premier mode de réalisation permettant un râssemblage partiel des N' éléments filaires métalliques des torons externes, l'étape de séparation et l'étape de râssemblage sont réalisées de sorte que  $N1'+N2' < N'$ .

[0089] Dans un deuxième mode de réalisation permettant un râssemblage total des M' éléments filaires métalliques des torons externes, l'étape de séparation et l'étape de râssemblage sont réalisées de sorte que  $N1'+N2' = N'$ .

[0090] Les caractéristiques avantageuses décrites ci-dessous s'appliquent indifféremment au procédé des premier et deuxième modes tel que défini ci-dessus.

[0091] De préférence,  $Q= M1'+M2'$  va de 3 à 18 et de préférence de 4 à 15.

[0092] De préférence,  $Q'= N1'+N2'$  va de 3 à 18 et de préférence de 4 à 15.

[0093] Avantageusement,  $Q=Q'$ .

[0094] Avantageusement, afin de faciliter la sortie du noyau transitoire dans les modes de réalisation dans lesquels

le noyau transitoire est séparé en deux parties allant chacune avec les premier et deuxième assemblages fractionnés:

- $M1' = 1, 2 \text{ ou } 3$  et  $M2' = 1, 2 \text{ ou } 3$  dans les cas où  $M' = 4$  ou  $M' = 5$  et
- $M1' \leq 0,75 \times M'$  dans les cas où  $M' \geq 6$ .
- $M2' \leq 0,75 \times M'$  dans les cas où  $M' \geq 6$ .

**[0095]** De la même façon,

- $N1' = 1, 2 \text{ ou } 3$  et  $N2' = 1, 2 \text{ ou } 3$  dans les cas où  $N' = 4$  ou  $N' = 5$  et
- $N1' \leq 0,75 \times M'$  dans les cas où  $M' \geq 6$ .
- $N2' \leq 0,75 \times M'$  dans les cas où  $M' \geq 6$ .

**[0096]** Afin de faciliter encore davantage la sortie du noyau transitoire dans les modes de réalisation dans lesquels le noyau transitoire est séparé en deux parties allant chacune avec les premier et deuxième assemblages dans les cas où  $M' \geq 6$ ,  $M1' \leq 0,70 \times M'$  et  $M2' \leq 0,70 \times M'$  et de la même façon, dans les cas où  $N' \geq 6$ ,  $N1' \leq 0,70 \times N'$  et  $N2' \leq 0,70 \times N'$ .

**[0097]** De façon très préférentielle, l'étape de fourniture de l'assemblage transitoire comprend une étape d'assemblage par retordage des  $M' > 1$  éléments filaires métalliques enroulés en hélice autour du noyau transitoire et une étape d'assemblage par retordage des  $N' > 1$  éléments filaires métalliques enroulés en hélice autour du noyau transitoire.

**[0098]** Avantageusement, l'étape de fourniture de l'assemblage transitoire comprend une étape d'équilibrage de l'assemblage transitoire. Ainsi, l'étape d'équilibrage étant réalisée sur l'assemblage transitoire comprenant les  $M'$  éléments filaires métalliques et le noyau transitoire, l'étape d'équilibrage est implicitement réalisée en amont de l'étape de séparation entre les premier et deuxième assemblages fractionnés. On évite d'avoir à gérer la torsion résiduelle imposée lors de l'étape d'assemblage de l'assemblage transitoire lors du trajet des différents assemblages en aval de l'étape d'assemblage, notamment dans les moyens de guidage, par exemple les poulies. Il en est de même pour l'étape d'équilibrage étant réalisée sur l'assemblage transitoire comprenant les  $N'$  éléments filaires métalliques.

**[0099]** Avantageusement, le procédé comprend une étape d'équilibrage de l'assemblage final en aval de l'étape de réassemblage.

**[0100]** Avantageusement, le procédé comprend une étape d'entretien de la rotation de l'assemblage final autour de sa direction de défilement. On réalise cette étape d'entretien de la rotation en aval de l'étape de séparation de l'assemblage transitoire et en amont de l'étape d'équilibrage de l'assemblage final.

**[0101]** De préférence, le procédé est dépourvu d'étapes de préformation individuelle de chacun des éléments filaires métalliques. Dans les procédés de l'état de la technique utilisant une étape de préformation individuelle de chacun des éléments filaires métalliques, ces derniers se voient imposés une forme par des outils de préformation, par exemple des galets, ces outils créant des défauts à la surface des éléments filaires métalliques. Ces défauts réduisent notamment l'endurance des éléments filaires métalliques et donc de l'assemblage final.

**[0102]** De façon très préférée, le noyau transitoire est un élément filaire métallique. Dans un mode de réalisation préféré, le noyau transitoire est un monofilament métallique. Ainsi, on contrôle très précisément le diamètre de l'espace entre les éléments filaires métalliques et donc les caractéristiques géométriques de l'assemblage final au contraire d'un noyau transitoire réalisé dans un matériau textile, par exemple polymérique, dont la compressibilité peut engendrer des variations des caractéristiques géométriques de l'assemblage final.

**[0103]** Dans d'autres modes de réalisation également avantageux, le noyau transitoire est un élément filaire textile. Un tel élément filaire textile comprend au moins un brin textile multifilamentaires ou, en variante, est constitué d'un monofilament textile. Les filaments textiles pouvant être utilisés sont choisis parmi les polyesters, les polycétones, les polyamides aliphatiques ou aromatiques et les mélanges de filaments textiles de ces matériaux. Ainsi, on réduit les risques de casse du noyau transitoire engendrés par les frottements des éléments filaires métalliques sur le noyau transitoire ainsi que par les torsions imposées au noyau transitoire.

## **PRODUIT RENFORCE SELON L'INVENTION**

**[0104]** L'invention a également pour objet un produit renforcé comprenant une matrice polymérique et au moins un câble extrait tel que défini ci-dessus.

**[0105]** 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.

## **PNEUMATIQUE SELON L'INVENTION**

**[0106]** L'invention a également pour objet un pneumatique comprenant au moins un câble extrait tel que défini ci-dessus ou un produit renforcé tel que défini ci-dessus.

[0107] 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.

[0108] 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.

[0109] 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.

[0110] 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.

[0111] 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 transportuse ou une chenille.

[0112] 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 illustre une partie de la courbe contrainte-allongement d'un câble (50) selon l'invention ;
- la figure 5 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 6 est une vue analogue à celle de la figure 5 d'un câble (60) selon un deuxième mode de réalisation l'invention ;
- la figure 7 est une représentation schématique de l'effet de la déformabilité du câble (50) de la figure 5 sous faible charge de traction grâce au jeu radial des fils ;et
- les figures 8 et 9 sont des représentations schématiques du procédé selon l'invention permettant de fabriquer le câble (50) de la figure 5.

## EXEMPLE DE PNEUMATIQUE SELON L'INVENTION

[0113] 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.

[0114] 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.

[0115] On a représenté sur les figures 1 et 2 un pneumatique selon l'invention et désigné par la référence générale P.

[0116] Le pneumatique P est pour véhicule lourd de type génie civil, par exemple de type « dumper ». Ainsi, le pneumatique P présente une dimension de type 53/80R63.

[0117] Le pneumatique P 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.

[0118] 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).

[0119] Le pneumatique P comprend également une nappe d'étanchéité 32 constituée d'un élastomère (communément appelée gomme intérieure) qui définit la face radialement interne 34 du pneumatique P et qui est destinée à protéger la nappe de carcasse 30 de la diffusion d'air provenant de l'espace intérieur au pneumatique P.

[0120] L'armature de sommet 14 comprend, radialement de l'extérieur vers l'intérieur du pneumatique P, 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.

[0121] 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.

[0122] 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.

[0123] 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 P.

## EXEMPLE DE PRODUIT RENFORCE SELON L'INVENTION

[0124] On a représenté sur la figure 3 un produit renforcé selon l'invention et désigné par la référence générale R. Le produit renforcé R comprend au moins un câble 50', en l'espèce plusieurs câbles 50', noyés dans la matrice polymérique Ma.

[0125] Sur la figure 3, on a représenté la matrice polymérique Ma, 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 R 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 R et noyés collectivement dans la matrice polymérique Ma. Ici, la matrice polymérique Ma est une matrice élastomérique à base d'une composition élastomérique.

## CABLE SELON UN PREMIER MODE DE REALISATION DE L'INVENTION

[0126] On a représenté sur la figure 5 le câble 50 selon un premier mode de réalisation de l'invention.

[0127] 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.

[0128] 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.

[0129] Le câble 50 ou le câble 50' comprend une couche interne CI du câble constituée de  $K \geq 1$  toron(s) interne(s) TI enroulés en hélice autour d'un axe principal (A), le ou chaque toron interne TI étant à une couche C1 de fils métalliques F1 et comprenant  $Q > 1$  fils métalliques F1 enroulés en hélice autour d'un axe (B) ; et une couche externe CE du câble constituée de  $L > 1$  torons externes TE enroulés autour de la couche interne CI du câble, chaque toron externe TE étant à une couche C1' de fils métalliques F1' et comprenant  $Q' > 1$  fils métalliques F1' enroulés en hélice autour d'un axe (B'). Ici,  $K=1$ ,  $L=6$  et  $Q=Q'=5$ .

[0130] Comme décrit précédemment, on trace la courbe contrainte-allongement du câble 50 en appliquant la norme ASTM D 885/D 885M - 10a de 2014. De cette courbe contrainte allongement, on en déduit l'aire sous cette courbe. On a représenté sur la figure 4 la méthode des rectangles pour déterminer l'indicateur d'énergie à rupture du câble 50.

[0131] Comme décrit précédemment, on détermine la valeur At en traçant une courbe contrainte-allongement du câble 50 en appliquant la norme ASTM D2969-04 de 2014. Le câble 50 présente un allongement total At = 12,5%.

[0132] L'indicateur d'énergie à rupture Er du câble 50 est tel que  $Er = \int_0^{At} \sigma(Ai) \times dAi$  qui est sensiblement égal à  $\sum_{0\%}^{12,5\%} 1/2(\sigma(Ai) + \sigma(Ai + 1)) \times 0,025\% = 102 \text{ MJ/m}^3$  qui est strictement supérieur à  $40 \text{ MJ/m}^3$ , de préférence supérieur ou égal à  $42 \text{ MJ/m}^3$ , plus préférentiellement supérieur ou égal à  $50 \text{ MJ/m}^3$  et encore plus préférentiellement supérieur ou égal à  $60 \text{ MJ/m}^3$ . Er est inférieur ou égal à  $200 \text{ MJ/m}^3$ .

[0133] On détermine le module tangent E2 à partir de cette même courbe en rapportant à la section du câble 50. Le câble 50 présente un module tangent E2 allant de 35 à 80 GPa, de préférence de 40 à 78 GPa et plus préférentiellement de 40 à 75 GPa ici E2= 46 GPa.

[0134] Le câble extrait 50' présente un module tangent E2' allant de 20 à 80 GPa, de préférence de 22 à 70 GPa,

plus préférentiellement de 22 à 50 GPa et encore plus préférentiellement de 22 à 40 GPa ici  $E2'=29$  GPa.

[0135] L'allongement total  $At'$  déterminé par la norme ASTM D2969-04 de 2014 tel que  $At' \geq 5,0\%$  et de préférence  $At' \geq 6,0\%$  ici  $At'= 11,5\%$ .

5 [0136] L'indicateur d'énergie à rupture  $Er'$  du câble extrait 50' est tel que  $Er' = \int_0^{At'} \sigma(Ai) \times dAi$  qui est sensiblement

égal à  $\sum_{0\%}^{11,5\%} 1/2(\sigma(Ai) + \sigma(Ai + 1)) \times 0,025\% = 92$  MJ/m<sup>3</sup> qui est supérieur ou égal à 40 MJ/m<sup>3</sup>, de préférence supérieur ou égal à 50 MJ/m<sup>3</sup>, plus préférentiellement supérieur ou égal à 55 MJ/m<sup>3</sup> et encore plus préférentiellement supérieur ou égal à 60 MJ/m<sup>3</sup>.

10 [0137] Les éléments filaires métalliques F1 ; F1' définissant une voûte interne 59 ; 59' de chaque toron interne et externe TI ; TE respectivement de diamètre Dvti, Dvte, chaque élément filaire métallique F1 ; F1' présentant un diamètre Dfi, Dfe et un rayon de courbure d'hélice Rfi, Rfe, définis par  $Rfi=Pi/(\pi \times \text{Sin}(2\alpha_i))$  et  $Rfe=Pe/(\pi \times \text{Sin}(2\alpha_e))$  satisfaisant les relations suivantes :

15 
$$9 \leq Rfi / Dfi \leq 30, \text{ et } 1,30 \leq Dvti / Dfi \leq 4,50$$

et

20 
$$9 \leq Rfe / Dfe \leq 30, \text{ et } 1,30 \leq Dvte / Dfe \leq 4,50$$

[0138] Ici

25 
$$Rfi=Rfe=10,4/(\pi \times \text{sin}(2 \times 25,8 \times \pi /180)) = 4,2 \text{ mm.}$$

30 
$$Rfi / Dfi=Rfe/Dfe = 4,2/0,46 = 9 \leq 30.$$

35 
$$Dvti / Dfi=Dte/Dfe = 1,12/0,46 = 2,46 \leq 4,50 \text{ et } 2,46 \geq 1,30.$$

## PROCEDE DE FABRICATION DU CABLE SELON L'INVENTION

[0139] Nous allons maintenant décrire un exemple de procédé de fabrication du câble muti-torons 50 tel que représenté sur les figures 8 et 9.

[0140] Tout d'abord, on fabrique le toron interne TI de la couche interne CI : on déroule les éléments filaires F1 et le noyau transitoire 16 depuis les moyens d'alimentation.

40 [0141] Puis, le procédé comprend une étape 100 de fourniture de l'assemblage transitoire 22 comprenant d'une part une étape d'assemblage par retordage des M' éléments filaires métalliques F1 en une unique couche de M' éléments filaires métalliques F1 autour du noyau transitoire 16 et d'autre part, une étape d'équilibrage de l'assemblage transitoire 22 réalisée grâce à un twister.

[0142] Le procédé comprend une étape 110 de séparation de l'assemblage transitoire 22 entre le premier assemblage fractionné 25, le deuxième assemblage fractionné 27 et le noyau transitoire 16 ou un ou plusieurs ensembles comprenant le noyau transitoire 16, ici le noyau transitoire 16.

[0143] En aval des moyens de fourniture 11, l'étape de séparation 110 de l'assemblage transitoire 22 entre le premier assemblage fractionné 25, le deuxième assemblage fractionné 27 et le noyau transitoire 16 comprend une étape 120 de séparation de l'assemblage transitoire 22 entre l'ensemble précurseur, le deuxième assemblage fractionné 27 et enfin le noyau transitoire 16.

[0144] En aval de l'étape de séparation 122, l'étape de séparation 120 de l'assemblage transitoire entre l'ensemble précurseur et l'ensemble fractionné comprend une étape 124 de séparation de l'ensemble fractionné entre le deuxième assemblage fractionné 27 et le noyau transitoire 16. Ici, l'étape de séparation 124 comprend une étape de fractionnement de l'ensemble fractionné en le deuxième assemblage fractionné 27, le noyau transitoire 16 et l'ensemble complémentaire.

55 [0145] En aval de l'étape de fourniture 100, l'étape de séparation 110 de l'assemblage transitoire entre le premier assemblage fractionné 25, le deuxième assemblage fractionné 27 et le noyau transitoire 16 comprend une étape 130 de séparation de l'ensemble précurseur entre le premier assemblage fractionné 25 et l'ensemble complémentaire.

[0146] En aval des étapes de séparation 110, 120, 124 et 130, le procédé comprend une étape 140 de réassemblage du premier assemblage fractionné 25 avec le deuxième assemblage fractionné 27 pour former le toron 54. Dans ce mode de réalisation, l'étape de réassemblage 140 est une étape de réassemblage du premier assemblage fractionné 25 avec le deuxième assemblage fractionné 27 pour former le toron interne TI et comprenant  $Q > 1$  fils métalliques F1, avec Q va de 3 à 18 et de préférence de 4 à 15, ici  $Q=5$ .

[0147] Dans ce mode de réalisation, l'étape de fourniture 100, l'étape de séparation 110 et l'étape de réassemblage 140 sont réalisées de sorte que tous les M' éléments filaires métalliques F1 présentent le même diamètre Dfi, sont enroulés en hélice selon le même pas Pi et présentent le même rayon d'hélice Rfi décrits précédemment.

[0148] Dans ce mode de réalisation permettant un réassemblage partiel des M' éléments filaires métalliques, l'étape de séparation 110 et l'étape réassemblage 140 sont réalisées de sorte que  $M1' + M2' < M'$ . Ici  $M1' = 1$  et  $M2' = 4$ ,  $M1' + M2' = 5 < 8$ . On notera enfin que  $M1' \leq 0,70 \times M' = 0,70 \times 8 = 5,6$  et  $M2' \leq 0,70 \times M' = 0,70 \times 8 = 5,6$ .

[0149] On réalise une étape d'équilibrage final.

[0150] Enfin, on stocke le toron interne sur une bobine de stockage. On fabrique de la même façon les L=6 torons externes TE.

[0151] Concernant le noyau transitoire 16, le procédé comprend une étape de recyclage du noyau transitoire 16. Durant cette étape de recyclage, on récupère le noyau transitoire 16 en aval de l'étape de séparation 110, ici en aval de l'étape de séparation 124, et on introduit le noyau transitoire 16 récupéré précédemment en amont de l'étape d'assemblage. Cette étape de recyclage est continue.

[0152] On notera que le procédé ainsi décrit est dépourvu d'étapes de préformation individuelle de chacun des éléments filaires métalliques F1.

[0153] On réalise une étape 300 d'assemblage par câblage du toron TI formant la couche interne CI puis des L =6 torons externes TE autour de la couche interne (CI) pour former le câble (50).

[0154] On notera que le procédé ainsi décrit est dépourvu d'étapes de préformation individuelle de chacun des torons internes et externes.

## CABLE SELON UN DEUXIEME MODE DE REALISATION DE L'INVENTION

[0155] On a représenté sur la figure 6 le câble 60 selon un deuxième mode de réalisation de l'invention.

[0156] A la différence du premier mode de réalisation décrit précédemment, le câble 60 selon le deuxième mode de réalisation est tel que  $K=3$  et  $L=9$ .

[0157] On a résumé dans les tableaux 1, 2 et 3 ci-dessous les caractéristiques pour les différents câbles 50, 50', 60, 60', 51, 52, 53, 53', 54 selon l'invention et pour les câbles de l'état de la technique EDT1, EDT1', EDT2 et EDT2'.

## TESTS COMPARATIFS

### Evaluation du module E2 et de l'indicateur d'énergie à rupture des câbles

[0158] On a tracé les courbes contrainte-allongement des câbles en appliquant la norme ASTM D 885/D 885M - 10a de 2014 et on a déterminé le module E2 et l'indicateur d'énergie à rupture pour les différents câbles 50, 50', 60, 60', 51, 52, 53, 53' selon l'invention et pour les câbles de l'état de la technique EDT1 et EDT1'.

[Tableau 1]

Câbles	50	50'	60	60'
K/ L/ pas/pas/sens	1/6/inf/80/Z	1/6/inf/80/Z	3/9/60/80/Z	3/9/60/80/Z
Sens TI/TE	S/S	S/S	S/S	S/S
M'/N'	8/8	8/8	11/11	11/11
Q/Q'	5/5	5/5	11/11	11/11
Rfi(mm)	4,2	4,2	3,5	3,5
Rfe(mm)	4,2	4,2	3,5	3,5
Pfi (mm)	10,4	10,4	7,8	7,8
Pfe (mm)	10,4	10,4	7,8	7,8
$\alpha_i$ (°)	25,8	25,8	22,7	22,7
$\alpha_e$ (°)	25,8	25,8	22,7	22,7

(suite)

	Câbles	50	50'	60	60'
5	Dfi(mm)	0,46	0,46	0,20	0,20
	Dfe(mm)	0,46	0,46	0,20	0,20
	Dvti(mm)	1,12	1,12	0,85	0,85
10	Dvte(mm)	1,12	1,12	0,85	0,85
	Rfi/Dfi	9	9	17,4	17,4
	Rfe/Dfe	9	9	17,4	17,4
	Dvti/Dfi	2,46	2,46	4,25	4,25
15	Dvte/Dfe	2,46	2,46	4,25	4,25
	Rti(mm)	-	-	128	128
	Pti (mm)	-	-	60	60
20	$\alpha_{ti}$ (°)	-	-	4,3	4,3
	Dti(mm)	-	-	1,25	1,25
	Dvi(mm)	-	-	0,20	0,20
	Rti/Dti	-	-	102	102
25	Dvi/Dti	-	-	0,16	0,16
	ML (g/m)	50,1	50,1	35,4	35,4
	E2 (GPa)	46	-	39	-
30	E2' (GPa)	-	29	-	35
	At %	12,5	-	12,7	-
	At' %	-	11,5	-	6,6
	Er (MJ/m³)	102	-	77	-
35	Er' (MJ/m³)	-	92	-	60
	D (mm)	6,14	6,14	5,00	5,00

[Tableau 2]

	Câbles	51	52	53	53'
40	K/ L/ pas/pas/sens	1/6/inf/80/Z	1/6/inf/80/Z	1/6/inf/80/Z	1/6/inf/80/Z
	Sens TI/TE	S/S	S/S	S/S	S/S
45	M'/N'	8/8	8/8	8/8	8/8
	Q/Q'	6/6	7/7	6/5	6/5
	Rfi(mm)	4,2	4,2	4,2	4,2
50	Rfe(mm)	4,2	4,2	4,2	4,2
	Pi (mm)	10,4	10,4	10,4	10,4
	Pe (mm)	10,4	10,4	10,4	10,4
55	$\alpha_i$ (°)	25,8	25,8	25,8	25,8
	$\alpha_e$ (°)	25,8	25,8	25,8	25,8
	Dfi(mm)	0,46	0,46	0,46	0,46

(suite)

	Câbles	51	52	53	53'
5	Dfe(mm)	0,46	0,46	0,46	0,46
	Dvti(mm)	1,12	1,12	1,12	1,12
	Dvte(mm)	1,12	1,12	1,12	1,12
	Rfi/Dfi	9	9	9	9
10	Rfe/Dfe	9	9	9	9
	Dvti/Dfi	2,46	2,46	2,46	2,46
	Dvte/Dfe	2,46	2,46	2,46	2,46
15	ML (g/m)	61,5	69,1	51,4	51,4
	E2 (GPa)	49	51	40	-
	E2' (GPa)	-	-	-	24
	At %	11,5	9,1	11,2	-
20	At' %	-	-	-	11,2
	Er (MJ/m <sup>3</sup> )	103	67	90	-
	Er' (MJ/m <sup>3</sup> )	-	-	-	85
25	D (mm)	6,14	6,14	6,14	6,14

[Tableau 3]

	Câbles	EDT1	EDT1'
30	K/ L/ pas/sens	1/6/inf/60Z	1/6/inf/60Z
	Structure TI/TE ; sens	3+9 ; S/S	3+9 ; S/S
	Dfi(mm)	0,35	0,35
35	Dfe(mm)	0,35	0,35
	ML (g/m)	60,1	60,1
	E2 (GPa)	150	-
40	E2' (GPa)	-	150
	At %	1,8	-
	At' %	-	1,8
45	Er (MJ/m <sup>3</sup> )	21	-
	Er' (MJ/m <sup>3</sup> )	-	21
	D (mm)	4,20	4,20

50 [0159] Les tableaux 1,2 et 3 montrent que, les câbles 50, 50', 60, 60', 51, 52, 53 et 53' selon l'invention présentent à la fois une énergie à rupture améliorée et présentent une meilleure déformabilité du fait de leur module relativement bas par rapport aux câbles de l'état de la technique EDT1 et EDT1'.

[0160] Ainsi, les câbles selon l'invention permettent de résoudre les problèmes évoqués en préambule.

[0161] L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation précédemment décrits

**Revendications****1. Câble (50 ; 60) multitorons à deux couches comprenant :**

- 5 - une couche interne (CI) du câble constituée de  $K \geq 1$  toron(s) interne(s) (TI) enroulés en hélice autour d'un axe principal (A), le ou chaque toron interne (TI) étant à une couche (C1) de fils métalliques (F1) et comprenant  $Q > 1$  fils métalliques (F1) enroulés en hélice autour d'un axe (B) ; et
- 10 - une couche externe (CE) du câble constituée de  $L > 1$  torons externes (TE) enroulés autour de la couche interne (CI) du câble, chaque toron externe (TE) étant à une couche (C1') de fils métalliques (F1') et comprenant  $Q' > 1$  fils métalliques (F1') enroulés en hélice autour d'un axe (B'),

**caractérisé en ce que :**

- 15 - le câble (50 ; 60) présente un module tangent  $E2$  allant de 35 à 80 GPa; et
- l'indicateur d'énergie à rupture  $Er$  du câble (50 ; 60) défini par  $Er = \int_0^{At} \sigma(Ai) \times dAi$  avec  $\sigma(Ai)$  étant la contrainte de traction en MPa mesurée à l'allongement  $Ai$  et  $dAi$  étant l'allongement tel que  $Er$  est strictement supérieur à  $40 \text{ MJ/m}^3$ .

20 **2. Câble (50 ; 60) selon la revendication précédente, dans lequel l'indicateur d'énergie à rupture  $Er$  du câble (50 ; 60) est supérieur ou égal à  $42 \text{ MJ/m}^3$  de préférence supérieur ou égal à  $50 \text{ MJ/m}^3$  et plus préférentiellement supérieur ou égal à  $60 \text{ MJ/m}^3$ .**

25 **3. Câble (50 ; 60) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'indicateur d'énergie à rupture  $Er$  du câble (50) est inférieur ou égal à  $200 \text{ MJ/m}^3$ .**

**4. Câble (50 ; 60) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le module tangent  $E2$  va de 40 à 78 GPa et de préférence de 40 à 75 GPa.**

**30 5. Câble multitorons à deux couches extrait (50' ; 60') d'une matrice polymérique, le câble extrait (50' ; 60') comprenant :**

- une couche interne (CI) du câble constituée de  $K \geq 1$  toron(s) interne(s) (TI) enroulés en hélice autour d'un axe principal (A), le ou chaque toron interne (TI) étant à une couche (C1) de fils métalliques (F1) et comprenant  $Q > 1$  fils métalliques enroulés en hélice autour d'un axe principal (B); et
- 35 - une couche externe (CE) du câble constituée de  $L > 1$  torons externes (TE) enroulés autour de la couche interne (CI) du câble, chaque toron externe (TE) étant à une couche (C1') de fils métalliques (F1') et comprenant  $Q' > 1$  fils métalliques enroulés en hélice autour d'un axe (B'),

**caractérisé en ce que :**

- 40 - le câble extrait (50' ; 60') présente un module tangent  $E2'$  allant de 20 à 80 GPa ;
- l'indicateur d'énergie à rupture  $Er'$  du câble extrait (50') défini par  $Er' = \int_0^{At'} \sigma(Ai) \times dAi$  avec  $\sigma(Ai)$  étant la contrainte de traction en MPa mesurée à l'allongement  $Ai$  et  $dAi$  étant l'allongement tel que  $Er'$  est strictement supérieur à  $40 \text{ MJ/m}^3$ .

**6. Câble extrait (50' ; 60') selon la revendication précédente, dans lequel le module tangent  $E2'$  va de 22 à 70 GPa, de préférence de 22 à 50 GPa et plus préférentiellement de 22 à 40 GPa.**

**50 7. Câble extrait (50' ; 60') selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, dans lequel l'indicateur d'énergie à rupture  $Er'$  du câble (50) est supérieur ou égal à  $50 \text{ MJ/m}^3$ , de préférence supérieur ou égal à  $55 \text{ MJ/m}^3$  et plus préférentiellement supérieur ou égal à  $60 \text{ MJ/m}^3$ .**

**8. Câble extrait (50' ; 60') selon la revendication 4 ou 5, présentant un allongement total  $At'$  déterminé par la norme ASTM D2969-04 de 2014 tel que  $At' \geq 5,0\%$  et de préférence  $At' \geq 6,0\%$ .**

**55 9. Câble (50 ; 60) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 ou câble extrait (50' ; 60') selon l'une quelconque des revendications 5 à 8, dans lequel les éléments filaires métalliques (F1 ; F1') définissant une voûte interne (59 ;**

59') de chaque toron interne et externe (TI ; TE) respectivement de diamètre Dvti, Dvte, chaque élément filaire métallique (F1 ; F1') présentant respectivement un diamètre Dfi, Dfe et respectivement un rayon de courbure d'hélice Rfi, Rfe, définis par  $Rfi=Pi/(\pi \times \text{Sin}(2\alpha i))$  avec Pi le pas de chaque élément filaire métallique du toron interne (TI) exprimé en millimètres et  $\alpha i$  l'angle d'hélice de chaque élément filaire métallique (F1) et  $Rfe=Pe/(\pi \times \text{Sin}(2\alpha e))$  avec Pe le pas de chaque élément filaire métallique du toron externe (TE) exprimé en millimètres et  $\alpha e$  l'angle d'hélice de chaque élément filaire métallique (F1') avec Dvti, Dvte, Dfi, Dfe et Rfi, Rfe étant exprimés en millimètres, le câble (50 ; 60) ou le câble extrait (50' ; 60') satisfaisant les relations suivantes :

10  $9 \leq Rfi / Dfi \leq 30, \text{ et } 1,30 \leq Dvti / Dfi \leq 4,50$

et

15  $9 \leq Rfe / Dfe \leq 30, \text{ et } 1,30 \leq Dvte / Dfe \leq 4,50.$

10. Câble (60) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 ou câble extrait (60') selon l'une quelconque des revendications 5 à 8, dans lequel quand  $K > 1$ , les torons internes (TI) définissent une voûte interne (68) du câble (60 ; 60') de diamètre Dvi, chaque toron interne (TI) présentant un diamètre Dti et un rayon de courbure d'hélice Rti avec Rti défini par  $Rti=Pt/(\pi \times \text{Sin}(2\alpha ti))$  avec Pt le pas de chaque toron interne exprimé en millimètres et  $\alpha ti$  l'angle d'hélice de chaque toron interne (TI), Dvi, Dti, et Rti étant exprimés en millimètres, le câble (60) ou le câble extrait (60') satisfaisant les relations suivantes :  $25 \leq Rti / Dti \leq 180$  et  $0,10 \leq Dvi / Dti \leq 0,50$ .

25. Procédé de fabrication d'un câble (50 ; 60) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 et 9 à 10, **caractérisé en ce qu'il comprend :**

- une étape de fabrication (200) du ou des K torons interne (TI) par :

- 30 ° une étape (100) de fourniture d'un assemblage transitoire (22) comprenant une couche constituée de  $M' > 1$  fils métalliques (F1) enroulés en hélice autour d'un noyau transitoire (16) ;
- ° une étape (110) de séparation de l'assemblage transitoire (22) entre :

- 35     ■ un premier assemblage fractionné (25) comprenant une couche (26) constituée de  $M1' \geq 1$  fil(s) métallique(s) (F1) enroulé(s) en hélice, le ou les  $M1'$  fil(s) métallique(s) (F1) étant issu(s) de la couche constituée de  $M' > 1$  fils métalliques (F1) de l'assemblage transitoire (22),
- un deuxième assemblage fractionné (27) comprenant une couche (28) constituée de  $M2' > 1$  fils métalliques (F1) enroulés en hélice, les  $M2'$  fils métalliques (F1) étant issus de la couche constituée de  $M' > 1$  fils métalliques (F1) de l'assemblage transitoire (22),
- le noyau transitoire (16) ou un ou plusieurs ensembles (83) comprenant le noyau transitoire (16),

- 40     ° une étape (140) de réassemblage du premier assemblage fractionné (25) avec le deuxième assemblage fractionné (27) pour former un toron interne (TI) à une couche de fils métalliques (F1) et comprenant  $Q > 1$  fils métalliques (F1) ;

45 - une étape de fabrication (200') des L torons externes (TE) par :

- 50     ° une étape (100') de fourniture d'un assemblage transitoire (22') comprenant une couche constituée de  $N' > 1$  fils métalliques (F1') enroulés en hélice autour d'un noyau transitoire (16') ;
- ° une étape (110') de séparation de l'assemblage transitoire (22') entre :

- 55     ■ un premier assemblage fractionné (25') comprenant une couche (26) constituée de  $N1' \geq 1$  fil(s) métallique(s) (F1') enroulé(s) en hélice, le ou les  $N1'$  fil(s) métallique(s) (F1') étant issu(s) de la couche constituée de  $N' > 1$  fils métalliques (F1') de l'assemblage transitoire (22'),
- un deuxième assemblage fractionné (27') comprenant une couche (28') constituée de  $N2' > 1$  fils métalliques (F1') enroulés en hélice, les  $N2'$  fils métalliques (F1') étant issus de la couche constituée de  $N' > 1$  fils métalliques (F1') de l'assemblage transitoire (22'),
- le noyau transitoire (16') ou un ou plusieurs ensembles (83') comprenant le noyau transitoire (16'),

◦ une étape (140') de réassemblage du premier assemblage fractionné (25') avec le deuxième assemblage fractionné (27') pour former un toron externe (TE) à une couche de fils métalliques (F1') et comprenant  $Q' > 1$  fils métalliques (F1') ;

5 - une étape d'assemblage (300) par câblage du ou des K torons internes (TI) pour former la couche interne (CI) puis des L torons externes (TE) autour de la couche interne (CI) pour former le câble (50 ; 60).

12. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel  $Q = M1' + M2'$  va de 3 à 18 et de préférence de 4 à 15.

10 13. Procédé selon la revendication 11 ou 12, dans lequel  $Q' = N1' + N2'$  va de 3 à 18 et de préférence de 4 à 15.

14. Produit renforcé (R), caractérisé en ce qu'il comprend une matrice polymérique (Ma) et au moins un câble extrait (50' ; 60') selon l'une quelconque des revendications 5 à 10.

15 15. Pneumatique (P), caractérisé en ce qu'il comprend au moins un câble extrait (50' ; 60') selon l'une quelconque des revendications 5 à 10 ou un produit renforcé selon la revendication 14.

## Patentansprüche

20 1. Mehrfachseil (50; 60) mit zwei Lagen, umfassend:

- eine innere Lage (CI) des Seils, die aus  $K \geq 1$  inneren Litzen (TI) besteht, die helixartig um eine Hauptachse (A) gewunden sind, wobei die oder jede innere Litze (TI) eine Lage (C1) aus Metalldrähten (F1) aufweist und  $Q > 1$  Metalldrähte (F1) umfasst, die helixartig um eine Achse (B) gewunden sind; und  
25 - eine äußere Lage (CE) des Seils, die aus  $L > 1$  äußeren Litzen (TE) besteht, die um die innere Lage (CI) des Seils gewunden sind, wobei jede äußere Litze (TE) eine Lage (C1') aus Metalldrähten (F1') aufweist und  $Q' > 1$  Metalldrähte (F1') umfasst, die helixartig um eine Achse (B') gewunden sind,

30 dadurch gekennzeichnet, dass:

- das Seil (50 ; 60) einen Tangentenmodul E2 von 35 bis 80 GPa aufweist; und  
35 - der Bruchenergieindikator Er des Seils (50, 60), der durch  $Er = \int_0^{At} \sigma(Ai) \times dAi$  definiert ist, wobei  $\sigma(Ai)$  die bei der Dehnung Ai gemessene Zugbeanspruchung in MPa ist und dAi die Dehnung ist, so dass Er strikt größer als 40 MJ/m<sup>3</sup> ist.

40 2. Seil (50; 60) nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei der Bruchenergieindikator Er des Seils (50; 60) größer als oder gleich 42 MJ/m<sup>3</sup>, bevorzugt größer als oder gleich 50 MJ/m<sup>3</sup> und besonders bevorzugt größer als oder gleich 60 MJ/m<sup>3</sup> ist.

45 3. Seil (50; 60) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Bruchenergieindikator Er des Seils (50) kleiner als oder gleich 200 MJ/m<sup>3</sup> ist.

4. Seil (50; 60) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Tangentenmodul E2 von 40 bis 78 GPa und bevorzugt von 40 bis 75 GPa reicht.

50 5. Mehrfachseil mit zwei Lagen (50'; 60'), das aus einer Polymermatrix herausgezogen wurde, wobei das herausgezogene Seil (50'; 60') umfasst:

- eine innere Lage (CI) des Seils, die aus  $K \geq 1$  inneren Litzen (TI) besteht, die helixartig um eine Hauptachse (A) gewunden sind, wobei die oder jede innere Litze (TI) eine Lage (C1) aus Metalldrähten (F1) aufweist und  $Q > 1$  Metalldrähte umfasst, die helixartig um eine Achse (B) gewunden sind; und  
55 - eine äußere Lage (CE) des Seils, die aus  $L > 1$  äußeren Litzen (TE) besteht, die um die innere Lage (CI) des Seils gewunden sind, wobei jede äußere Litze (TE) eine Lage (C1') aus Metalldrähten (F1') aufweist und  $Q' > 1$  Metalldrähte umfasst, die helixartig um eine Achse (B') gewunden sind,

dadurch gekennzeichnet, dass:

- das herausgezogene Seil (50'; 60') einen Tangentenmodul  $E2'$  von 20 bis 80 GPa aufweist;
- der Bruchenergieindikator  $Er'$  des herausgezogenen Seils (50'), der durch  $Er' = \int_0^{At} \sigma(Ai) \times dAi$  definiert ist, wobei  $\sigma(Ai)$  die bei der Dehnung  $Ai$  gemessene Zugbeanspruchung in MPa ist und  $dAi$  die Dehnung ist, so dass  $Er'$  strikt größer als 40 MJ/m<sup>3</sup> ist.

- 5            6. Herausgezogenes Seil (50'; 60') nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei der Tangentenmodul  $E2'$  von 22 bis 70 GPa, bevorzugt von 22 bis 50 GPa und besonders bevorzugt von 22 bis 40 GPa reicht.
- 10          7. Herausgezogenes Seil (50'; 60') nach einem der Ansprüche 4 bis 6, wobei der Bruchenergieindikator  $Er'$  des Seils (50) größer als oder gleich 50 MJ/m<sup>3</sup>, bevorzugt größer als oder gleich 55 MJ/m<sup>3</sup> und besonders bevorzugt größer als oder gleich 60 MJ/m<sup>3</sup> ist.
- 15          8. Herausgezogenes Seil (50'; 60') nach Anspruch 4 oder 5, das eine derartige Gesamtdehnung  $At'$ , bestimmt durch die Norm ASTM D2969-04 von 2014, aufweist, dass  $At' \geq 5,0\%$  und bevorzugt  $At' \geq 6,0\%$ .
- 20          9. Seil (50; 60) nach einem der Ansprüche 1 bis 4 oder herausgezogenes Seil (50'; 60') nach einem der Ansprüche 5 bis 8, wobei die Metalldrahtelemente (F1; F1') ein inneres Gewölbe (59; 59') jeder inneren und äußeren Litze (TI; TE) mit dem Durchmesser  $Dvti$  bzw.  $Dvte$  definieren, wobei jedes Metalldrahtelement (F1; F1') einen Durchmesser  $Dfi$  bzw.  $Dfe$  und einen Helixkrümmungsradius  $Rfi$  bzw.  $Rfe$  aufweist, die durch  $Rfi = Pi / (\pi \times \sin(2\alpha_i))$  definiert werden, wobei  $Pi$  die in Millimetern ausgedrückte Steigung jedes Metalldrahtelements der inneren Litze (TI) und  $\alpha_i$  der Helixwinkel jedes Metalldrahtelements (F1) ist, und  $Rfe = Pe / (\pi \times \sin(2\alpha_e))$ , wobei  $Pe$  die in Millimeter ausgedrückte Steigung jedes Metalldrahtelements der äußeren Litze (TE) und  $\alpha_e$  der Helixwinkel jedes Metalldrahtelements (F1') ist, wobei  $Dvti$ ,  $Dvte$ ,  $Dfi$ ,  $Dfe$  und  $Rfi$ ,  $Rfe$  in Millimetern ausgedrückt werden, wobei das Seil (50; 60) oder das herausgezogene Seil (50'; 60') die folgenden Gleichungen erfüllt:

$$9 \leq Rfi / Dfi \leq 30, \text{ und } 1,30 \leq Dvti / Dfi \leq 4,50$$

30          und

$$9 \leq Rfe / Dfe \leq 30, \text{ und } 1,30 \leq Dvte / Dfe \leq 4,50.$$

- 35          10. Seil (60) nach einem der Ansprüche 1 bis 4 oder herausgezogenes Seil (60') nach einem der Ansprüche 5 bis 8, wobei, wenn  $K > 1$ , die inneren Litzen (TI) ein inneres Gewölbe (68) des Seils (60; 60') mit dem Durchmesser  $Dvi$  definieren, wobei jede innere Litze (TI) einen Durchmesser  $Dti$  und einen Helixkrümmungsradius  $Rti$  aufweist, wobei  $Rti$  durch  $Rti = Pti / (n \times \sin(2\alpha_{ti}))$  definiert ist, wobei  $Pti$  die in Millimetern ausgedrückte Steigung jeder inneren Litze und  $\alpha_{ti}$  der Helixwinkel jeder inneren Litze (TI) ist, wobei  $Dvi$ ,  $Dti$  und  $Rti$  in Millimetern ausgedrückt werden, wobei das Seil (60) oder das herausgezogene Seil (60') die folgenden Gleichungen erfüllt:

$$25 \leq Rti / Dti \leq 180 \text{ und } 0,10 \leq Dvi / Dti \leq 0,50.$$

- 45          11. Verfahren zur Herstellung eines Seils (50; 60) nach einem der Ansprüche 1 bis 4 und 9 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass es umfasst:**

- einen Schritt des Herstellens (200) der  $K$  inneren Litze(n) (TI) durch:

- 50
  - einen Schritt (100) des Bereitstellens eines Übergangsverbands (22), umfassend eine Lage, die aus  $M' > 1$  helixartig um einen Übergangskern (16) gewundenen Metalldrähten (F1) besteht,
  - einen Schritt (110) des Trennens des Übergangsverbands (22) in:
    - einen ersten fraktionierten Verband (25), umfassend eine Lage (26), die aus  $M1' \geq 1$  Metalldrahtdrähten (F1) besteht, der/die helixartig gewunden ist/sind, wobei der oder die  $M1'$  Metalldraht/-drähte (F1) aus der aus  $M' > 1$  Metalldrähten (F1) bestehenden Lage des Übergangsverbands (22) stammt/stammen,
    - einen zweiten fraktionierten Verband (27), umfassend eine Lage (28), die aus  $M2' > 1$  helixartig

gewundenen Metalldrähten (F1) besteht, wobei die M2' Metalldrähte (F1) aus der aus M' > 1 Metalldrähten bestehenden Lage des Übergangsverbands (22) stammen,  
 ▪ den Übergangskern (16) oder eine oder mehrere Anordnungen (83), die den Übergangskern (16) umfassen,

5

◦ einen Schritt (140) des Wiederzusammensetzens des ersten fraktionierten Verbands (25) mit dem zweiten fraktionierten Verband (27), um eine innere Litze (TI) mit einer Lage aus Metalldrähten (F1) und umfassend Q > 1 Metalldrähte (F1) zu bilden;

10

- einen Schritt des Herstellens (200') der L äußereren Litzen (TE) durch:

◦ einen Schritt (100') des Bereitstellens eines Übergangsverbands (22'), umfassend eine Lage, die aus N'>1 helixartig um einen Übergangskern (16') gewundenen Metalldrähten (F1') besteht,  
 ◦ einen Schritt (110') des Trennens des Übergangsverbands (22') in:

15

▪ einen ersten fraktionierten Verband (25'), umfassend eine Lage (26), die aus N1' ≥ 1 Metalldraht/-drähten (F1') besteht, der/die helixartig gewunden ist/sind, wobei der oder die N1' Metalldraht/-drähte (F1') aus der aus N'>1 Metalldrähten (F1') bestehenden Lage des Übergangsverbands (22') stammt/stammen,

20

▪ einen zweiten fraktionierten Verband (27'), umfassend eine Lage (28'), die aus N2' > 1 helixartig gewundenen Metalldrähten (F1') besteht, wobei die N2' Metalldrähte (F1') aus der aus N'>1 Metalldrähten (F1') bestehenden Lage des Übergangsverbands (22') stammen,  
 ▪ den Übergangskern (16') oder eine oder mehrere Anordnungen (83'), die den Übergangskern (16') umfassen,

25

◦ einen Schritt (140') des Wiederzusammensetzens des ersten fraktionierten Verbands (25') mit dem zweiten fraktionierten Verband (27'), um eine äußere Litze (TE) mit einer Lage aus Metalldrähten (F1') und umfassend Q' > 1 Metalldrähte (F1') zu bilden;

30

- einen Schritt des Zusammensetzens (300) durch Verseilen der K inneren Litze(n) (TI), um die innere Lage (CI) zu bilden, dann der L äußereren Litzen (TE) um die innere Lage (CI), um das Seil (50; 60) zu bilden.

12. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, bei dem Q = M1' + M2' von 3 bis 18 und bevorzugt von 4 bis 15 reicht.

35

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, bei dem Q' - N1' + N2' von 3 bis 18 und bevorzugt von 4 bis 15 reicht.

14. Verstärktes Produkt (R), **dadurch gekennzeichnet, dass** es eine Polymermatrix (Ma) und mindestens ein herausgezogenes Seil (50'; 60') nach einem der Ansprüche 5 bis 10 umfasst.

40

15. Reifen (P), **dadurch gekennzeichnet, dass** er mindestens ein herausgezogenes Seil (50 ; 60') nach einem der Ansprüche 5 bis 10 oder ein verstärktes Produkt nach Anspruch 14 umfasst.

## Claims

45

1. Two-layer multi-strand cord (50; 60) comprising:

- an internal layer (CI) of the cord made up of K≥1 internal strand(s) (TI) wound in a helix about a main axis (A), the or each internal strand (TI) having one layer (C1) of metal filaments (F1) and comprising Q>1 metal filaments (F1) wound in a helix about an axis (B); and

50

- an external layer (CE) of the cord made up of L>1 external strands (TE) wound around the internal layer (CI) of the cord, each external strand (TE) having one layer (C1') of metal filaments (F1') and comprising Q'>1 metal filaments (F1') wound in a helix about an axis (B'),

55

**characterized in that:**

- the cord (50; 60) has a tangent modulus E2 ranging from 35 to 80 GPa; and

5 - the energy-at-break indicator  $Er$  of the cord (50; 60), defined by  $Er = \int_0^{At} \sigma(Ai) \times dAi$  where  $\sigma(Ai)$  is the tensile stress in MPa measured at the elongation  $Ai$  and  $dAi$  is the elongation such that  $Er$  is strictly greater than 40 MJ/m<sup>3</sup>.

10 2. Cord (50; 60) according to the preceding claim, wherein the energy-at-break indicator  $Er$  of the cord (50; 60) is greater than or equal to 42 MJ/m<sup>3</sup>, preferably greater than or equal to 50 MJ/m<sup>3</sup>, and more preferentially greater than or equal to 60 MJ/m<sup>3</sup>.

15 3. Cord (50; 60) according to either one of the preceding claims, wherein the energy-at-break indicator  $Er$  of the cord (50) is less than or equal to 200 MJ/m<sup>3</sup>.

15 4. Cord (50; 60) according to any one of the preceding claims, wherein the tangent modulus  $E2$  ranges from 40 to 78 GPa, and preferably from 40 to 75 GPa.

20 5. Extracted two-layer multi-strand cord (50'; 60') extracted from a polymer matrix, the extracted cord (50'; 60') comprising:

20 - an internal layer (CI) of the cord made up of  $K \geq 1$  internal strand(s) (TI) wound in a helix about a main axis (A), the or each internal strand (TI) having one layer (C1) of metal filaments (F1) and comprising  $Q > 1$  metal filaments wound in a helix about a main axis (B); and

25 - an external layer (CE) of the cord made up of  $L > 1$  external strands (TE) wound around the internal layer (CI) of the cord, each external strand (TE) having one layer (C1') of metal filaments (F1') and comprising  $Q' > 1$  metal filaments wound in a helix about an axis (B'), **characterized in that:**

30 - the extracted cord (50'; 60') has a tangent modulus  $E2'$  ranging from 20 to 80 GPa;

30 - the energy-at-break indicator  $Er'$  of the extracted cord (50'), defined by  $Er' = \int_0^{At'} \sigma(Ai) \times dAi$  where  $\sigma(Ai)$  is the tensile stress in MPa measured at the elongation  $Ai$  and  $dAi$  is the elongation such that  $Er'$  is strictly greater than 40 MJ/m<sup>3</sup>.

35 6. Extracted cord (50'; 60') according to the preceding claim, wherein the tangent modulus  $E2'$  ranges from 22 to 70 GPa, preferably from 22 to 50 GPa, and more preferentially from 22 to 40 GPa.

40 7. Extracted cord (50'; 60') according to any one of Claims 4 to 6, wherein the energy-at-break indicator  $Er'$  of the cord (50) is greater than or equal to 50 MJ/m<sup>3</sup>, preferably greater than or equal to 55 MJ/m<sup>3</sup>, and more preferentially greater than or equal to 60 MJ/m<sup>3</sup>.

45 8. Extracted cord (50'; 60') according to Claim 4 or 5, having a total elongation  $At'$  determined by the standard ASTM D2969-04 of 2014, such that  $At' \geq 5.0\%$  and preferably  $At' \geq 6.0\%$ .

50 9. Cord (50; 60) according to any one of claims 1 to 4 or extracted cord (50'; 60') according to any one of claims 5 to 8, wherein the metal filamentary elements (F1; F1') define an internal enclosure (59; 59') of each internal and external strand (TI; TE) respectively of diameter  $Dvti$ ,  $Dvte$ , each metal filamentary element (F1; F1') respectively having a diameter  $Dfi$ ,  $Dfe$  and respectively having a helix radius of curvature  $Rfi$ ,  $Rfe$ , defined by  $Rfi = Pi / (\pi \times \sin(2\alpha_i))$  where  $Pi$  is the pitch of each metal filamentary element of the internal strand (TI) expressed in millimetres and  $\alpha_i$  is the helix angle of each metal filamentary element (F1) and  $Rfe = Pe / (\pi \times \sin(2\alpha_e))$  where  $Pe$  is the pitch of each metal filamentary element of the external strand (TE) expressed in millimetres and  $\alpha_e$  is the helix angle of each metal filamentary element (F1') where  $Dvti$ ,  $Dvte$ ,  $Dfi$ ,  $Dfe$  and  $Rfi$ ,  $Rfe$  are expressed in millimetres, the cord (50; 60) or the extracted cord (50'; 60') satisfies the following relationships:

55 
$$9 \leq Rfi / Dfi \leq 30, \text{ and } 1.30 \leq Dvti / Dfi \leq 4.50$$

and

$9 \leq R_{fe} / D_{fe} \leq 30$ , and  $1.30 \leq D_{vte} / D_{fe} \leq 4.50$ .

- 5 10. Cord (60) according to any one of claims 1 to 4 or extracted cord (60') according to any one of claims 5 to 8, wherein when  $K > 1$ , the internal strands (TI) define an internal enclosure (68) of the cord (60; 60') with diameter  $D_{vi}$ , each internal strand (TI) having a diameter  $D_{ti}$  and a helix radius of curvature  $R_{ti}$ , where  $R_{ti}$  is defined by  $R_{ti} = P_{ti}/(\pi \times \sin(2\alpha_{ti}))$  where  $P_{ti}$  is the pitch of each internal strand expressed in millimetres and  $\alpha_{ti}$  is the helix angle of each internal strand (TI),  $D_{vi}$ ,  $D_{ti}$ , and  $R_{ti}$  being expressed in millimetres, the cord (60) or the extracted cord (60') satisfying the following relationships:

10  $25 \leq R_{ti} / D_{ti} \leq 180$  and  $0.10 \leq D_{vi} / D_{ti} \leq 0.50$ .

- 15 11. Method for manufacturing a cord (50; 60) according to any one of Claims 1 to 4 and 9 to 10, **characterized in that** it comprises:

- a step (200) of manufacturing the  $K$  internal strand(s) (TI) via:

- 20  $\circ$  a step (100) of supplying a transitory assembly (22) comprising a layer made up of  $M' > 1$  metal filaments (F1) wound in a helix around a transitory core (16);  
 $\circ$  a step (110) of separating the transitory assembly (22) into:

- 25  $\blacksquare$  a first split assembly (25) comprising a layer (26) made up of  $M' \geq 1$  metal filament(s) (F1) wound in a helix, the  $M'$  metal filament(s) (F1) originating from the layer made up of  $M' > 1$  metal filaments (F1) of the transitory assembly (22),  
 $\blacksquare$  a second split assembly (27) comprising a layer (28) made up of  $M' > 1$  metal filament(s) (F1) wound in a helix, the  $M'$  metal filaments (F1) originating from the layer made up of  $M' > 1$  metal filaments (F1) of the transitory assembly (22),  
 $\blacksquare$  the transitory core (16) or one or more ensembles (83) comprising the transitory core (16),

- 30  $\circ$  a step (140) of reassembling the first split assembly (25) with the second split assembly (27) to form an internal strand (TI) having one layer of metal filaments (F1) and comprising  $Q > 1$  metal filaments (F1);

- a step (200) of manufacturing the  $L$  external strands (TE) via:

- 35  $\circ$  a step (100') of supplying a transitory assembly (22') comprising a layer made up of  $N' > 1$  metal filaments (F1') wound in a helix around a transitory core (16');  
 $\circ$  a step (110') of separating the transitory assembly (22') into:

- 40  $\blacksquare$  a first split assembly (25') comprising a layer (26) made up of  $N' \geq 1$  metal filament(s) (F1') wound in a helix, the  $N'$  metal filament(s) (F1') originating from the layer made up of  $N' > 1$  metal filaments (F1') of the transitory assembly (22'),  
 $\blacksquare$  a second split assembly (27') comprising a layer (28') made up of  $N' > 1$  metal filaments (F1') wound in a helix, the  $N'$  metal filaments (F1') originating from the layer made up of  $N' > 1$  metal filaments (F1') of the transitory assembly (22'),  
 $\blacksquare$  the transitory core (16') or one or more ensembles (83') comprising the transitory core (16'),

- 45  $\circ$  a step (140') of reassembling the first split assembly (25') with the second split assembly (27') to form an external strand (TE) having one layer of metal filaments (F1') and comprising  $Q' > 1$  metal filaments (F1');

50 - a step (300) of assembling, by cabling, the  $K$  internal strand(s) (TI) to form the internal layer (CI) and then the  $L$  external strands (TE) around the internal layer (CI) to form the cord (50; 60).

- 55 12. Method according to the preceding claim, wherein  $Q = M' + M' > 1$  ranges from 3 to 18 and preferably from 4 to 15.

13. Method according to Claim 11 or 12, wherein  $Q' = N' + N' > 1$  ranges from 3 to 18 and preferably from 4 to 15.

14. Reinforced product (R), **characterized in that** it comprises a polymer matrix (Ma) and at least one extracted cord

(50'; 60') according to any one of Claims 5 to 10.

15. Tyre (P), **characterized in that** it comprises at least one extracted cord (50'; 60') according to any one of Claims 5 to 10 or a reinforced product according to Claim 14.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

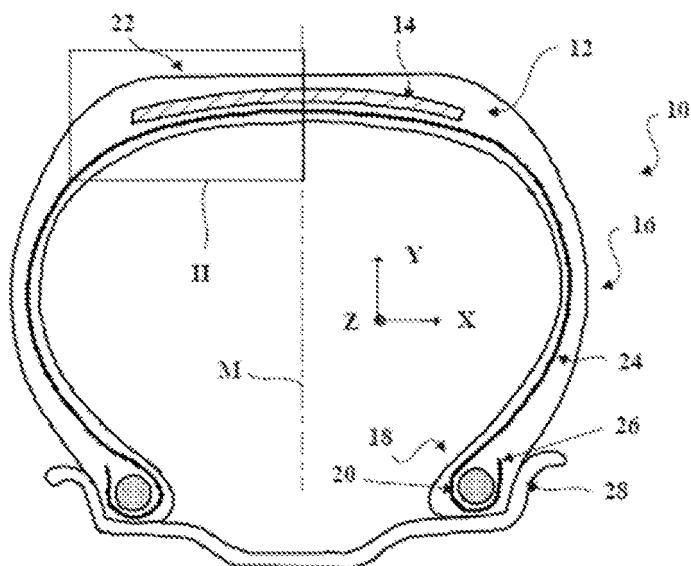


Fig.1

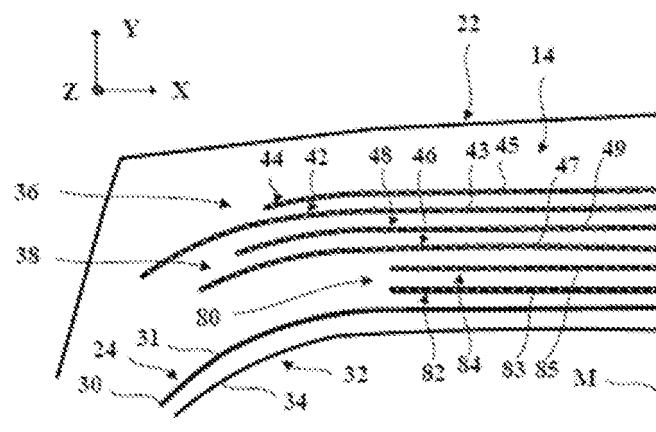


Fig.2

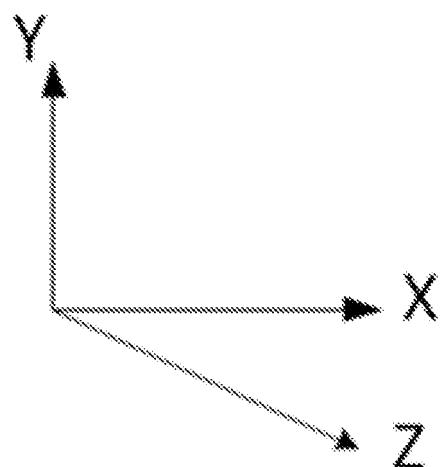
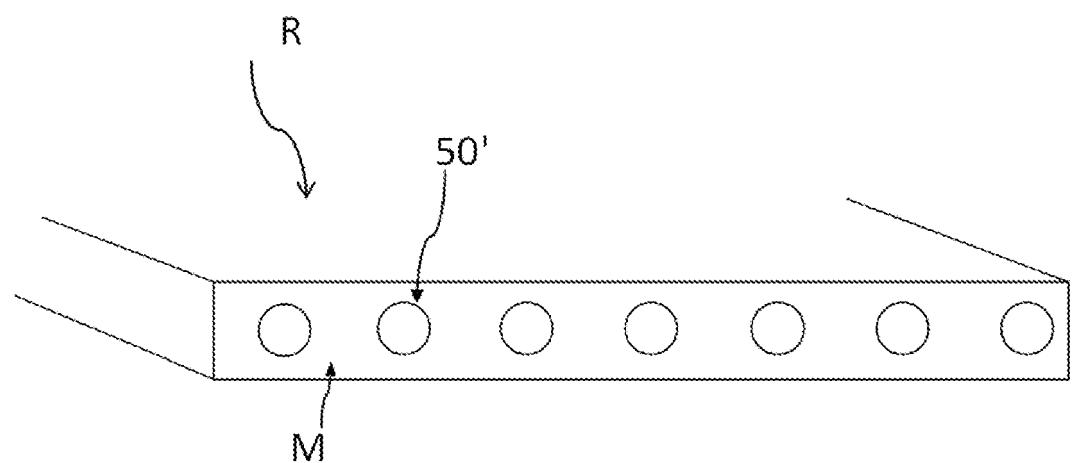
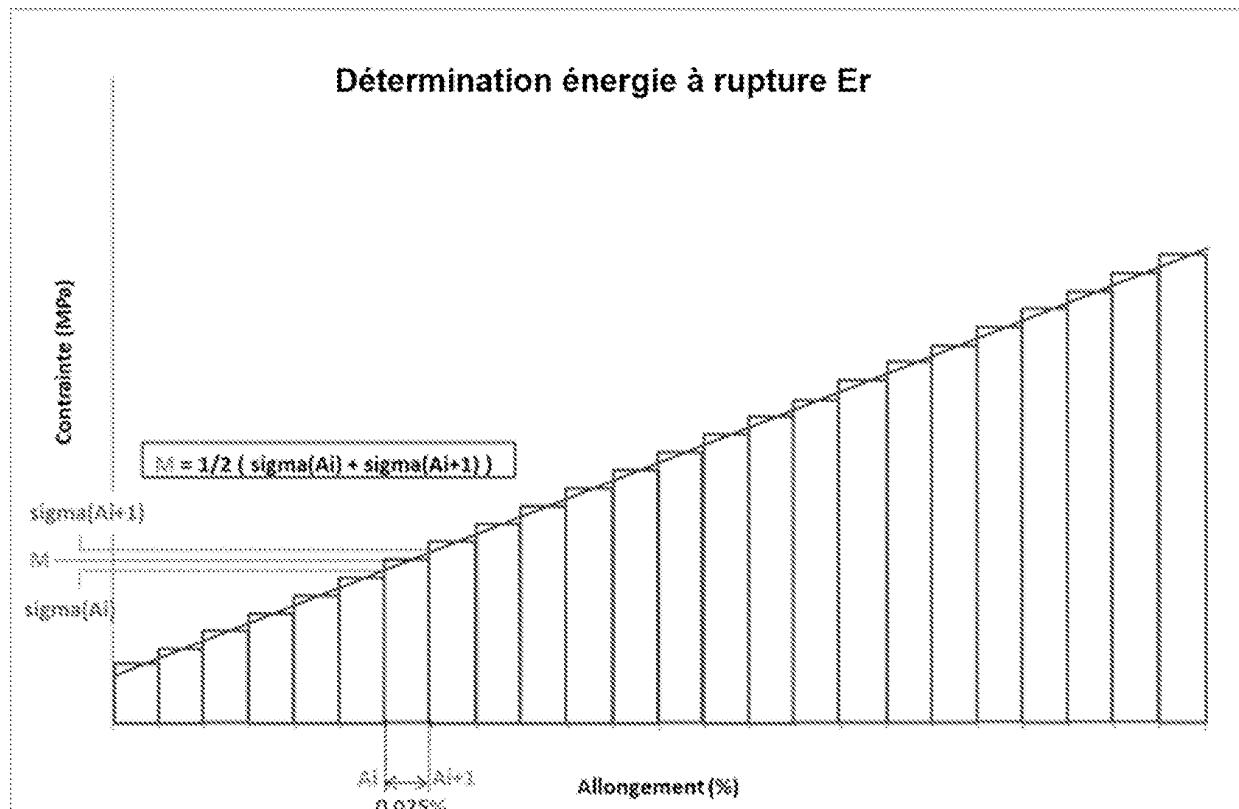
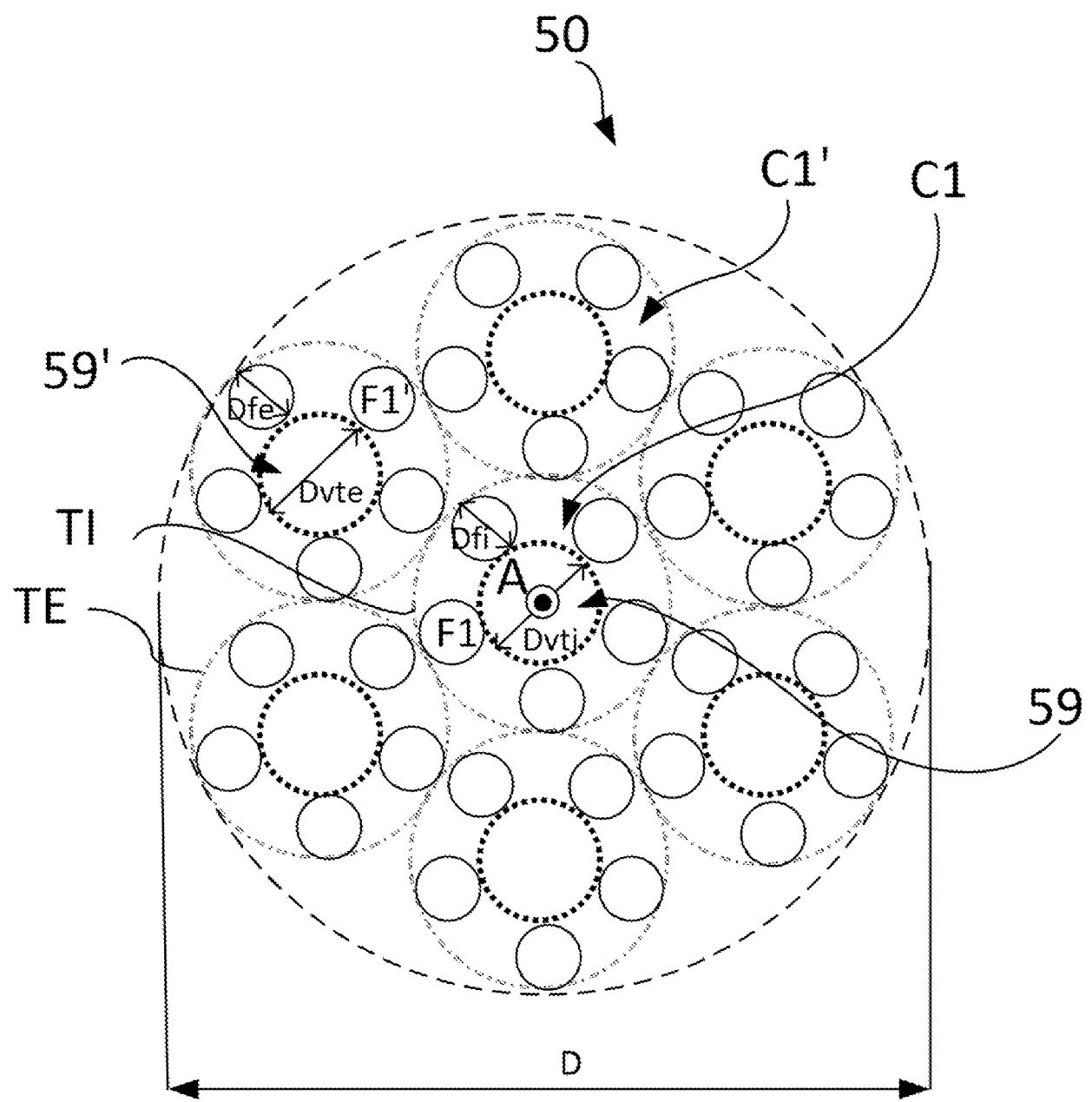


Fig.3



**Fig.4**



**Fig.5**

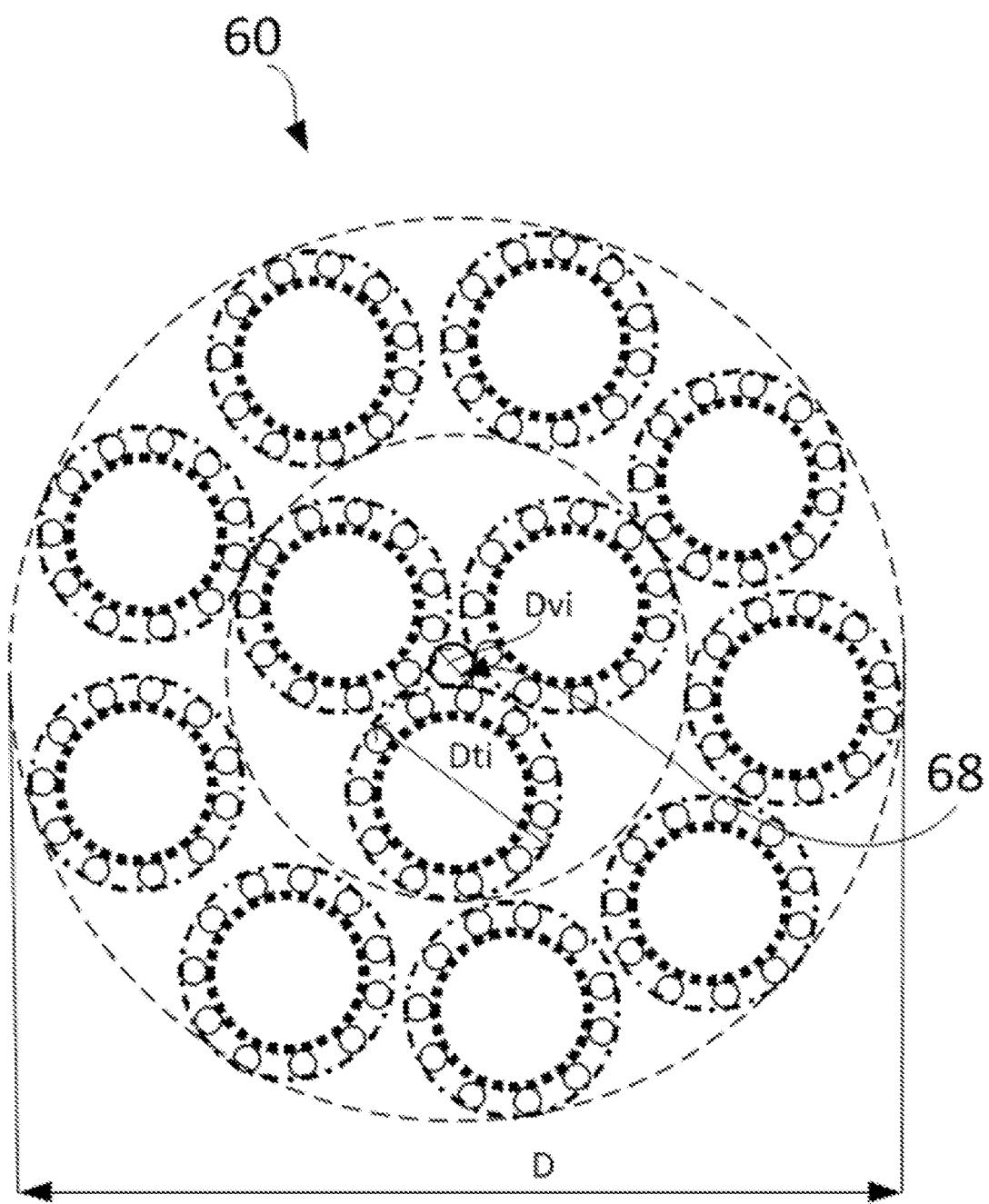
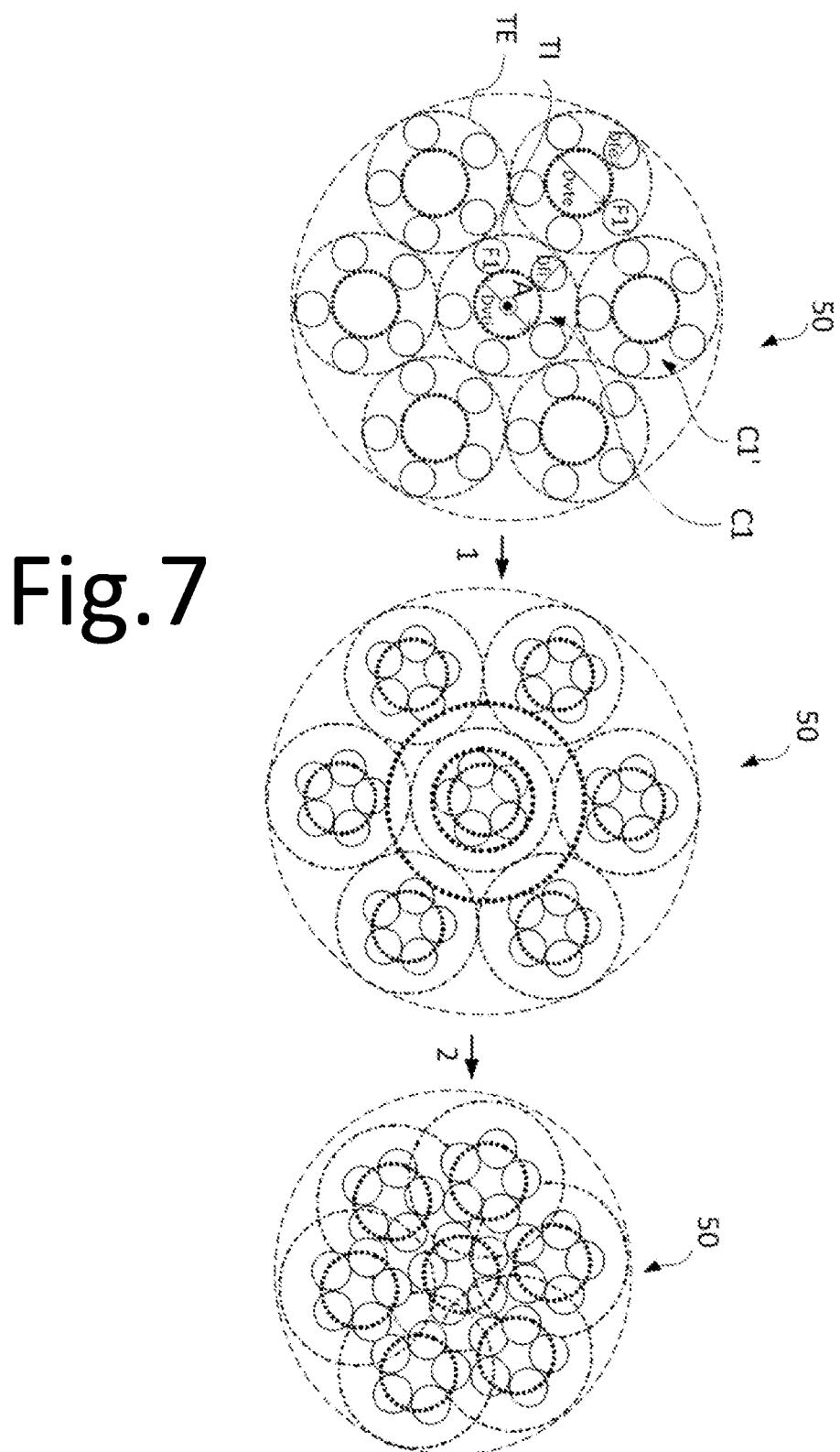


Fig.6



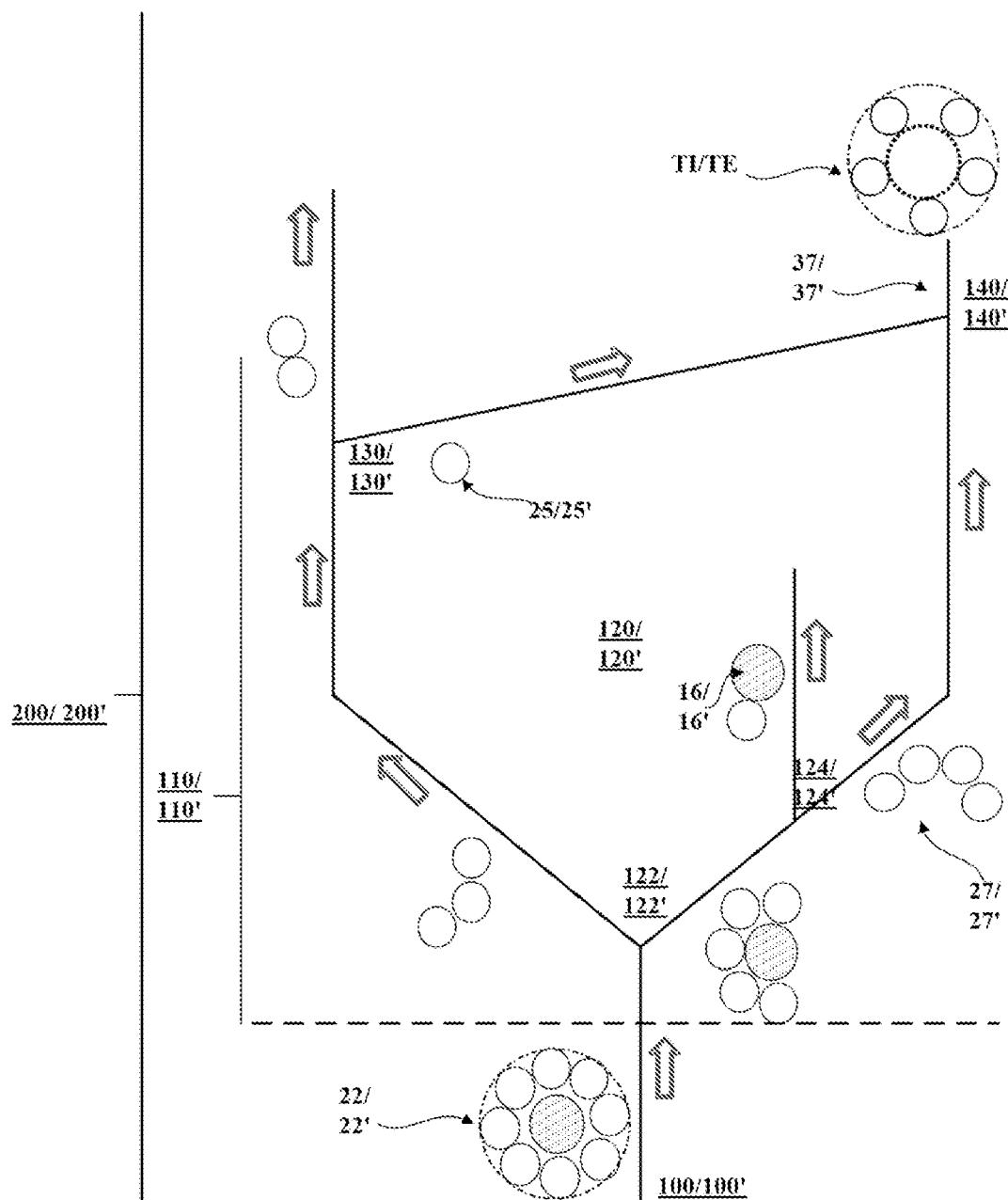


Fig.8

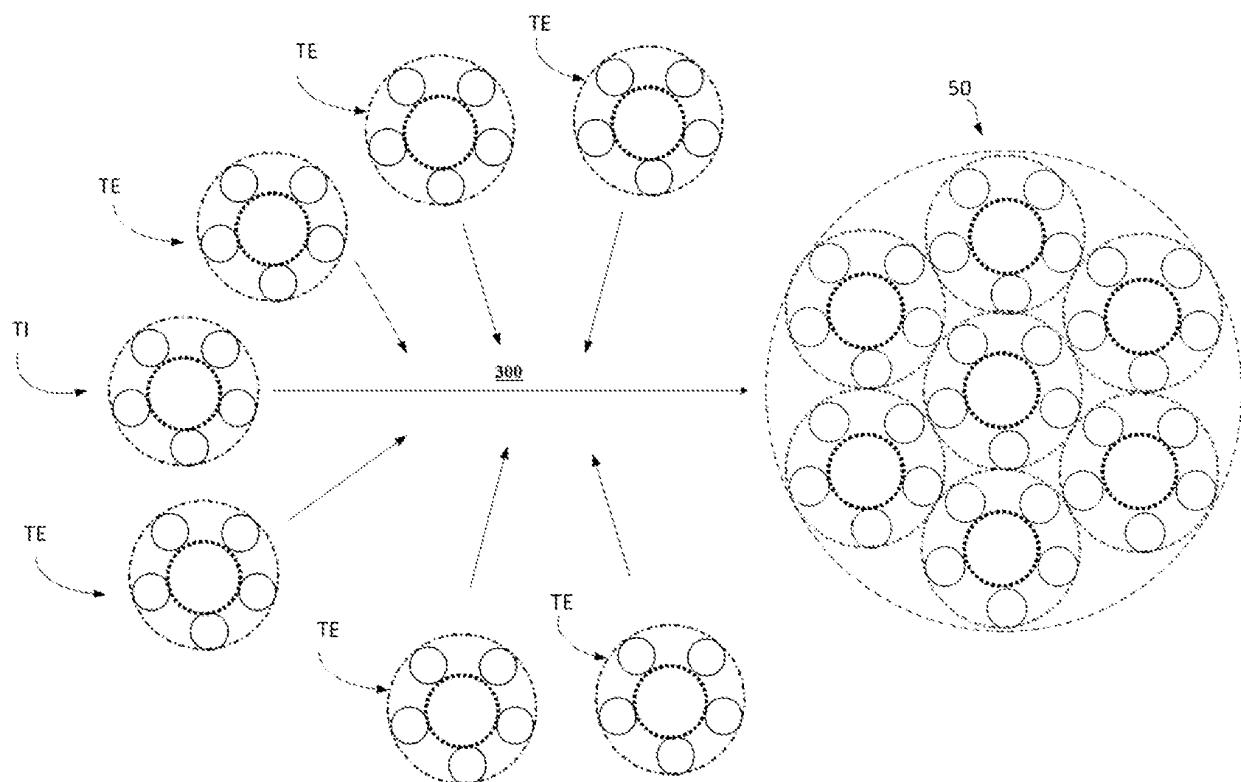


Fig.9

**RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION**

*Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.*

**Documents brevets cités dans la description**

- US 3555789 A [0003]
- WO 2016083265 A [0064] [0065]
- WO 2016083267 A [0064] [0065]
- EP 0548539 A [0064]
- EP 1000194 A [0064]
- EP 0622489 A [0064]
- WO 2012055677 A [0064]
- JP 2007092259 B [0064]
- WO 2007128335 A [0064]
- JP H06346386 B [0064]
- EP 0143767 A [0064]
- FR 2419181 [0123]
- FR 2419182 [0123]