

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la  
Propriété Intellectuelle  
Bureau international

(43) Date de la publication internationale  
27 juin 2019 (27.06.2019)



(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2019/122720 A1**

(51) Classification internationale des brevets :  
*D07B 1/06* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2018/053416

(22) Date de dépôt international :  
19 décembre 2018 (19.12.2018)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
1762496 19 décembre 2017 (19.12.2017) FR

(71) Déposant : **COMPAGNIE GENERALE DES ETABLISSEMENTS MICHELIN** [FR/FR] ; 23, Place des Carmes-Déchaux, 63000 CLERMONT-FERRAND (FR).

(72) Inventeurs : **CLEMENT, Emmanuel** ; MANUFACTURE FRANCAISE DES PNEUMATIQUES MICHELIN, 23, place des Carmes-Déchaux, CBS/PI - F35 - Ladoux, 63040 CLERMONT-FERRAND CEDEX 9 (FR). **BARBAT, Romain** ; MANUFACTURE FRANCAISE DES PNEUMATIQUES MICHELIN, 23, place des Carmes-Déchaux, CBS/PI - F35 - Ladoux, 63040 CLERMONT-FERRAND CEDEX 9 (FR). **CHEVALLEY, Marianna** ; MANUFACTURE FRANCAISE DES PNEUMATIQUES MICHELIN, 23, place des Carmes-Déchaux, CBS/PI - F35 - Ladoux, 63040 CLERMONT-FERRAND CEDEX 9 (FR). **GIANETTI, Alexandre** ; MANUFACTURE FRANCAISE DES PNEUMATIQUES MICHELIN, 23, place des Carmes-Déchaux, CBS/PI - F35 - Ladoux, 63040 CLERMONT-FERRAND CEDEX 9 (FR). **LAURENT, Stéphane** ; MANUFACTURE FRANCAISE DES PNEUMATIQUES MICHELIN, 23, place des

(54) Title: TWO-LAYER MULTI-STRAND CABLES HAVING VERY LOW, LOW AND MEDIUM MODULUS

(54) Titre : Câbles multi-torons à deux couches à très bas, bas et moyen modules

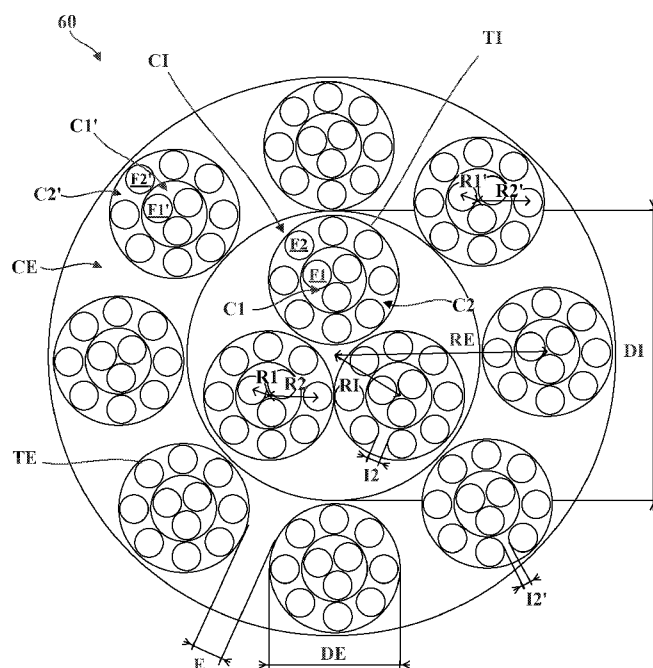


FIG. 3

(57) Abstract: The invention relates to a two-layer multi-strand cable (60) having a modulus  $EC$  such that  $50 \text{ GPa} \leq EC \leq 160 \text{ GPa}$ . The cable comprises: - an inner layer (CI) of the cable made up of  $J > 1$  inner strands (TI) wound in a helix having a modulus  $EI$ , each inner strand (TI) comprising: an inner layer (C1) made up of  $Q \geq 1$  inner wires (F1), and an outer layer (C2) made up of  $N > 1$  outer wires (F2) wound around the inner layer (C1), - an outer layer (CE) of the cable made up of  $L > 1$  outer strands (TE) wound around the inner layer (CI) of the cable, each outer strand (TE) comprising: an inner layer (C1') made up of  $Q' \geq 1$  inner wires (F1') and an outer layer (C2') made up of  $N' > 1$  outer wires (F2') wound around the inner layer (C1').

(57) Abrégé : L'invention a pour objet un câble multi-torons (60) à deux couches présentant un module  $EC$  tel que  $50 \text{ GPa} \leq EC \leq$

Carmes-Déchaux, CBS/PI - F35 - Ladoux, 63040 CLERMONT-FERRAND CEDEX 9 (FR).

(74) **Mandataire : DESBORDES, Guillaume** ; MANUFACTURE FRANCAISE DES PNEUMATIQUES MICHELIN, 23, place des Carmes-Déchaux, CBS/PI - F35 - Ladoux, 63040 CLERMONT-FERRAND CEDEX 9 (FR).

(81) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée:**

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

160GPa. Le câble comprend: -une couche interne (CI) du câble constituée de  $J > 1$  torons internes (TI) enroulés en hélice présentant un module EI, chaque toron interne (TI) comprenant: une couche interne (C1) constituée de  $Q \geq 1$  fils internes (F1), et une couche externe (C2) constituée de  $N > 1$  fils externes (F2) enroulés autour de la couche interne (C1), - 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) comprenant: une couche interne (C1') constituée de  $Q' \geq 1$  fils internes (F1'), une couche externe (C2') constituée de  $N' > 1$  fils externes (F2') enroulés autour de la couche interne (C1').

## Câbles multi-torons à deux couches à très bas, bas et moyen modules

[001] L'invention concerne les câbles multi-torons utilisables notamment pour le renforcement de pneumatiques, particulièrement de pneumatiques pour véhicules industriels lourds ainsi que les pneumatiques utilisant des tels câbles.

[002] Un pneumatique à armature de carcasse radiale comprend une bande de roulement, deux bourrelets inextensibles, deux flancs reliant les bourrelets à la bande de roulement et une ceinture, ou armature de sommet, disposée circonférentiellement entre l'armature de carcasse et la bande de roulement. Cette armature de sommet comprend plusieurs armatures aux fonctions différentes.

[003] L'armature de sommet comprend généralement une armature de travail comprenant deux nappes de travail, ou nappes croisées, comprenant des éléments filaires de renfort métalliques de travail agencés les uns sensiblement parallèlement aux autres dans chaque nappe de travail, mais croisés d'une nappe à l'autre, c'est-à-dire inclinés, symétriquement ou non, par rapport au plan circonférentiel médian, d'un angle allant généralement de 15° et 40°. Cette armature de travail permet, entre autres fonctions, la transmission au moins partielle des efforts transversaux exercés par le sol sur le pneumatique lors du roulage de ce dernier afin d'assurer la directionnalité du pneumatique, c'est-à-dire la capacité du pneumatique à permettre au véhicule sur lequel il est monté de tourner.

[004] De tels éléments filaires métalliques de travail sont notamment décrits dans WO2008026271. WO2008026271 décrit des câbles multi-torons à deux couches comprenant une couche interne du câble constituée de  $J > 1$  torons internes enroulés en hélice et une couche externe du câble constituée de  $L > 1$  torons externes enroulés autour de la couche interne du câble. Chaque toron interne et externe est à plusieurs couches et comprend au moins une couche interne constituée de  $Q > 1$  fils internes, éventuellement une couche intermédiaire constituée de  $P > 1$  fils intermédiaires enroulés autour de la couche interne, et une couche externe constituée de  $N > 1$  fils externes enroulés autour de la couche interne ou intermédiaire.

[005] Dans WO2008026271, l'objectif est de fournir des éléments filaires de renfort de travail présentant une rigidité et une force à rupture aussi élevées que possible afin d'éviter les dégâts causés sur l'armature de sommet, et notamment sur l'armature de travail, par les obstacles rencontrés par le pneumatique lors de son roulage.

[006] Dans WO2008026271, cet objectif est atteint en augmentant le nombre de torons internes et externes autant que faire se peut par rapport à des câbles multi-torons classiques dont la force à rupture est plus faible et pour lesquels  $J=1$  et  $L=6$ , tels que notamment décrits dans WO2015090920. Ainsi, dans WO2008026271, l'objectif est de lutter contre la déformation imposée par les obstacles rencontrés en leur opposant des câbles les plus

rigides et mécaniquement résistants possibles.

**[007]** Toutefois, si cette solution est efficace contre des obstacles de dimensions relativement petites ou moyennes, elle s'avère inefficace à l'égard des obstacles de dimensions plus grandes. En effet, dans ces cas, les efforts exercés sur les câbles sont supérieurs à la dureté de l'acier et l'obstacle vient alors cisailer les câbles et ce, d'autant plus facilement que ces câbles sont rigides et s'opposent à la déformation imposée par l'obstacle.

**[008]** L'invention a pour but un câble permettant d'éviter les dégâts causés par les obstacles sollicitant fortement l'armature de sommet, notamment l'armature travail du pneumatique.

### **[009] CABLE SELON L'INVENTION**

**[010]** A cet effet, l'invention a pour objet un câble multi-torons à deux couches présentant un module EC et comprenant :

- une couche interne du câble constituée de  $J > 1$  torons internes enroulés en hélice présentant un module EI, chaque toron interne comprenant :

- une couche interne constituée de  $Q \geq 1$  fils internes, et
- une couche externe constituée de  $N > 1$  fils externes enroulés autour de la couche interne,

- une couche externe du câble constituée de  $L > 1$  torons externes enroulés autour de la couche interne du câble, chaque toron externe comprenant :

- une couche interne constituée de  $Q' \geq 1$  fils internes,
- une couche externe constituée de  $N' > 1$  fils externes enroulés autour de la couche interne,

câble dans lequel  $50 \text{ GPa} \leq EC \leq 160 \text{ GPa}$ .

**[011]** Contrairement à l'état de la technique dans lequel les câbles présentent des modules bien supérieurs à 160 GPa et sont donc relativement rigides, les inventeurs ont trouvés que les câbles selon l'invention présentant des modules plus faibles sont plus performants à l'encontre des obstacles sollicitant fortement l'armature de sommet du pneumatique.

**[012]** En effet, les inventeurs ont trouvé qu'il était plus efficace d'épouser l'obstacle grâce à un câble présentant un module plus faible 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 était enseigné dans l'état de la technique. En épousant les obstacles, on diminue le cisaillement exercé sur les câbles et donc le risque de rupture de ces câbles.

**[013]** La valeur du module EC des câbles selon l'invention assure que ces derniers présentent des structures correspondant à des modules relativement faibles variant entre 50 GPa et 160 GPa et permettant donc d'épouser les obstacles rencontrés contrairement aux

câbles de l'état de la technique, bien trop rigides.

**[014]** En outre, la valeur du module EC des câbles selon l'invention assure que ces derniers présentent un module suffisant pour permettre une directionnalité suffisante du pneumatique lorsqu'ils sont utilisés dans l'armature de travail.

5 **[015]** 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.

10 **[016]** En outre, contrairement au cas où  $J=1$  et dans lequel il existerait un risque de voir, sous l'effet des efforts répétés de compression appliqués au câble, le toron interne sortir radialement du câble, la présence de plusieurs torons dans la couche interne du câble ( $J>1$ ) enroulés en hélice permet de réduire ce risque, les efforts de compression étant alors répartis sur la pluralité de torons de la couche interne du câble et l'hélice maintenant les  
15 torons internes les uns avec les autres.

**[017]** De façon optionnelle et préférée, dans un mode de réalisation, le câble est dépourvu de toute composition polymérique, notamment le câble est dépourvu de gaine de toute composition polymérique recouvrant le toron interne. Dans un autre mode de réalisation, le câble est dépourvu de toute composition élastomérique, notamment le câble est dépourvu  
20 de gaine de toute composition élastomérique recouvrant la couche interne du câble.

**[018]** Par composition de polymère ou 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  
25 thermoplastique ou un mélange de ces polymères.

**[019]** Par composition d'élastomère ou composition élastomérique, on entend que la composition comprend au moins un élastomère ou un caoutchouc (les deux termes étant synonymes) et au moins un autre composant. De préférence, la composition d'élastomère comprend également un système de vulcanisation, une charge. Plus préférentiellement,  
30 l'élastomère est diénique.

**[020]** Dans la description et les revendications, 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  
35 borne « b » c'est-à-dire incluant les bornes strictes « a » et « b ».

**[021]** On rappelle que, de manière connue, le pas d'un toron représente la longueur de ce toron, mesurée parallèlement à l'axe du câble, au bout de laquelle le toron ayant ce pas

effectue un tour complet autour dudit axe du câble. De façon analogue, le pas d'un fil représente la longueur de ce fil, mesurée parallèlement à l'axe du toron dans lequel il se trouve, au bout de laquelle le fil ayant ce pas effectue un tour complet autour dudit axe du toron.

5 **[022]** Par sens d'enroulement d'une couche de torons ou de fils, on entend le sens formé par les torons ou les fils par rapport à l'axe du câble ou du toron. Le sens d'enroulement est communément désigné par la lettre soit Z, soit S.

**[023]** Les pas, sens d'enroulement et diamètres des fils et des torons sont déterminés conformément à la norme ASTM D2969-04 de 2014. Les rayons d'enroulement sont  
10 mesurés par observation au microscope sur une coupe du câble réalisée selon un axe perpendiculaire à l'axe du câble.

**[024]** Par diamètres de fils proches, on entend que les rapports des diamètres des fils considérés deux à deux vont de 0,75 à 1,25. Par diamètres de fils identiques, on entend que les rapports des diamètres des fils considérés deux à deux sont égaux à 1.

15 **[025]** Avantageusement, le câble est métallique. Par câble métallique, on entend par définition un câble formé de fils constitués intégralement (pour 100% des fils) d'un matériau métallique. Un tel câble métallique est préférentiellement mise en œuvre avec des fils en acier, plus préférentiellement en acier perlitique (ou ferrito-perlitique) au carbone désigné ci-après par "acier au carbone", ou encore en acier inoxydable (par définition, acier comportant  
20 au moins 11% de chrome et au moins 50% de fer). Mais il est bien entendu possible d'utiliser d'autres aciers ou d'autres alliages.

**[026]** Lorsqu'un acier au carbone est avantageusement utilisé, sa teneur en carbone (% en poids d'acier) est de préférence comprise entre 0,2% et 1,2%, notamment entre 0,5% et 1,1% ; ces teneurs représentent un bon compromis entre les propriétés mécaniques  
25 requises pour le pneumatique et la faisabilité des fils.

**[027]** Le métal ou l'acier utilisé, qu'il s'agisse en particulier d'un acier au carbone ou d'un acier inoxydable, peut être lui-même revêtu d'une couche métallique améliorant par exemple les propriétés de mise en œuvre du câble métallique et/ou de ses éléments constitutifs, ou les propriétés d'usage du câble et/ou du pneumatique eux-mêmes, telles que les propriétés  
30 d'adhésion, de résistance à la corrosion ou encore de résistance au vieillissement. Selon un mode de réalisation préférentiel, l'acier utilisé est recouvert d'une couche de laiton (alliage Zn-Cu) ou de zinc.

**[028]** De préférence, les fils d'une même couche d'un toron prédéterminé (interne ou externe) présentent tous sensiblement le même diamètre. Avantageusement les torons  
35 internes présentent tous sensiblement le même diamètre. Avantageusement, les torons externes présentent tous sensiblement le même diamètre. Par « sensiblement le même diamètre », on entend que les fils ou les torons ont des diamètres identiques aux tolérances

industrielles près.

**[029]** Dans la présente demande, le module EC d'un câble est calculé en mesurant la pente de la partie élastique d'une courbe force-allongement obtenue en appliquant la norme ASTM D2969-04 de 2014 au câble testé, puis en rapportant cette pente à la section métallique du câble, c'est-à-dire la somme des sections des fils constituant le câble. Alternativement, on peut déterminer la section métallique en mesurant la masse linéique du câble conformément à la norme ASTM D2969-04 de 2014 et en divisant cette masse linéique par la densité de l'acier utilisé.

**[030]** La partie élastique de la courbe correspond à une partie sensiblement linéaire de la courbe force-allongement, partie qui est complémentaire à la partie structurale et à la partie plastique de la courbe force-allongement. La partie élastique correspond à un allongement élastique  $A_e$  et résulte de la construction du câble, notamment des angles des différentes couches et des diamètres des fils. La partie élastique, et l'allongement  $A_e$  correspondant, de la courbe force-allongement sont notamment décrits dans les documents US5843583, WO 2005/014925 et WO2007/090603 et correspondent à la partie et à l'allongement de la courbe force-allongement compris entre :

- la partie structurale correspondant à l'allongement structural  $A_s$ , résultant de l'aération du câble, c'est-à-dire l'espace vacant entre les différents fils ou torons constituant le câble, et
- la partie plastique correspondant à l'allongement plastique  $A_p$ , résultant de la plasticité (déformation irréversible au-delà de la limite d'élasticité) d'un ou plusieurs fils du câble.

**[031]** Pour certains câbles, il n'existe pas d'aération dans le câble si bien que l'allongement structural  $A_s$  est nul. Dans tous les cas ( $A_s$  nul et  $A_s$  non nul), la partie élastique correspond à la partie linéaire de la courbe force-allongement présentant la pente la plus élevée.

**[032]** Le module EC du câble est mesuré sur un câble issu de fabrication, c'est-à-dire dépourvu de toute composition élastomérique dans laquelle serait noyé le câble pour former une nappe. De façon analogue, le module EI de la couche interne du câble est mesuré en prenant la couche interne du câble soit à l'issue de sa fabrication, soit en déroulant la couche externe de torons externes du câble fini de façon à obtenir la couche interne du câble seule. En variante, on pourra mesurer les modules EC et EI en extrayant un câble d'un pneumatique et en enlevant toute composition élastomérique autour et dans le câble, par exemple par dégommage chimique comme cela est bien connu de l'homme du métier.

**[033]** On adoptera également dans la description qui suit les définitions suivantes des angles d'hélice  $\alpha$  de chaque toron interne dans la couche interne du câble et  $\alpha'$  de chaque toron externe dans la couche externe du câble.

$\alpha = \arctan\left(\frac{2\pi R_I}{P_I}\right)$  dans laquelle  $R_I$  est le rayon d'enroulement des torons internes et  $P_I$  est le pas d'enroulement de chaque toron interne.

$\alpha' = \arctan\left(\frac{2\pi R_E}{P_E}\right)$  dans laquelle  $R_E$  est le rayon d'enroulement des torons externes et  $P_E$  est le pas d'enroulement de chaque toron externe.

- 5 **[034]** Les rayons d'enroulement  $R_I$  et  $R_E$  sont mesurés sur une coupe transversale perpendiculaire à l'axe principal du câble et correspondent à la distance entre le centre de l'hélice décrite par respectivement chaque toron interne et externe et le centre du câble.

- [035]** Dans un mode de réalisation dans lequel chaque toron interne est à deux couches, on adoptera également dans la description qui suit les définitions suivantes des angles d'hélice  $\beta$  de chaque fil interne dans la couche interne au sein de chaque toron interne et  $\gamma$  de chaque fil externe dans la couche externe au sein de chaque toron interne.

$\beta = \arctan\left(\frac{2\pi R_1}{p_1}\right)$  dans laquelle  $R_1$  est le rayon d'enroulement des  $Q$  fils internes de chaque toron interne et  $p_1$  est le pas auquel sont assemblés les  $Q$  fils internes au sein de chaque toron interne. Dans le cas où  $Q=1$ ,  $R_1=0$  et donc  $\beta=0$ .

- 15  $\gamma = \arctan\left(\frac{2\pi R_2}{p_2}\right)$  dans laquelle  $R_2$  est le rayon d'enroulement des  $N$  fils externes de chaque toron interne et  $p_2$  est le pas auquel sont assemblés les  $N$  fils externes au sein de chaque toron interne.

- Dans ce mode de réalisation, chaque fil interne présente un diamètre  $D_1$  et chaque fil externe présente un diamètre  $D_2$ . Les rayons d'enroulement  $R_1$  et  $R_2$  sont mesurés sur une coupe transversale perpendiculaire à l'axe principal de chaque toron interne pris individuellement et correspondent à la distance entre le centre de l'hélice décrite par respectivement chaque fil interne et externe et le centre du toron interne.

- [036]** Dans un mode de réalisation dans lequel chaque toron interne est à trois couches, on adoptera également dans la description qui suit les définitions suivantes des angles d'hélice  $\beta$  de chaque fil interne dans la couche interne au sein de chaque toron interne,  $\delta$  de chaque fil intermédiaire dans la couche intermédiaire au sein de chaque toron interne, et  $\gamma$  de chaque fil externe dans la couche externe au sein de chaque toron interne.

- $\beta = \arctan\left(\frac{2\pi R_1}{p_1}\right)$  dans laquelle  $R_1$  est le rayon d'enroulement des  $Q$  fils internes de chaque toron interne et  $p_1$  est le pas auquel sont assemblés les  $Q$  fils internes au sein de chaque toron interne. Dans le cas où  $Q=1$ ,  $R_1=0$  et donc  $\beta=0$ .

$\delta = \arctan\left(\frac{2\pi R_2}{p_2}\right)$  dans laquelle  $R_2$  est le rayon d'enroulement des  $P$  fils intermédiaires de chaque toron interne et  $p_2$  est le pas auquel sont assemblés les  $P$  fils intermédiaires au sein de chaque toron interne.

$\gamma = \arctan\left(\frac{2\pi R_3}{p_3}\right)$  dans laquelle  $R_3$  est le rayon d'enroulement des  $N$  fils externes de chaque

toron interne et  $p_3$  est le pas auquel sont assemblés les  $N$  fils externes au sein de chaque toron interne. Les rayons d'enroulement  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$  sont mesurés sur une coupe transversale perpendiculaire à l'axe principal de chaque toron interne pris individuellement et correspondent à la distance entre le centre de l'hélice décrite par respectivement chaque fil interne, intermédiaire et externe et le centre du toron interne.

Dans ce mode de réalisation, chaque fil interne présente un diamètre  $D_1$ , chaque fil intermédiaire présente un diamètre  $D_2$  et chaque fil externe présente un diamètre  $D_3$ .

**[037]** Dans un mode de réalisation dans lequel chaque toron externe est à deux couches, on adoptera également dans la description qui suit les définitions suivantes des angles d'hélice  $\beta'$  de chaque fil interne dans la couche interne au sein de chaque toron externe et  $\gamma'$  de chaque fil externe dans la couche externe au sein de chaque toron externe.

$\beta' = \arctan\left(\frac{2\pi R_1'}{p_1'}\right)$  dans laquelle  $R_1'$  est le rayon d'enroulement des  $Q'$  fils internes de chaque toron externe et  $p_1'$  est le pas auquel sont assemblés les  $Q'$  fils internes au sein de chaque toron externe. Dans le cas où  $Q'=1$ ,  $R_1'=0$  et donc  $\beta'=0$ .

$\gamma' = \arctan\left(\frac{2\pi R_2'}{p_2'}\right)$  dans laquelle  $R_2'$  est le rayon d'enroulement des  $N'$  fils externes de chaque toron externe et  $p_2'$  est le pas auquel sont assemblés les  $N'$  fils externes au sein de chaque toron externe.

Dans ce mode de réalisation, chaque fil interne présente un diamètre  $D_1'$  et chaque fil externe présente un diamètre  $D_2'$ . Les rayons d'enroulement  $R_1'$  et  $R_2'$  sont mesurés sur une coupe transversale perpendiculaire à l'axe principal de chaque toron externe pris individuellement et correspondent à la distance entre le centre de l'hélice décrite par respectivement chaque fil interne et externe et le centre du toron externe.

**[038]** Dans un mode de réalisation dans lequel chaque toron externe est à trois couches, on adoptera également dans la description qui suit les définitions suivantes des angles d'hélice  $\beta'$  de chaque fil interne dans la couche interne au sein de chaque toron externe,  $\delta'$  de chaque fil intermédiaire dans la couche intermédiaire au sein de chaque toron externe, et  $\gamma'$  de chaque fil externe dans la couche externe au sein de chaque toron externe.

$\beta' = \arctan\left(\frac{2\pi R_1'}{p_1'}\right)$  dans laquelle  $R_1'$  est le rayon d'enroulement des  $Q'$  fils internes de chaque toron externe et  $p_1'$  est le pas auquel sont assemblés les  $Q'$  fils internes au sein de chaque toron externe. Dans le cas où  $Q'=1$ ,  $R_1'=0$  et donc  $\beta'=0$ .

$\delta' = \arctan\left(\frac{2\pi R_2'}{p_2'}\right)$  dans laquelle  $R_2'$  est le rayon d'enroulement des  $P'$  fils intermédiaires de chaque toron externe et  $p_2'$  est le pas auquel sont assemblés les  $P'$  fils intermédiaires au sein de chaque toron externe.

$\gamma' = \arctan\left(\frac{2\pi R_3'}{p_3'}\right)$  dans laquelle  $R_3'$  est le rayon d'enroulement des  $N'$  fils externes de

chaque toron externe et  $p_3'$  est le pas auquel sont assemblés les  $N'$  fils externes au sein de chaque toron externe avant assemblage des torons internes et des torons externes entre eux.

Dans ce mode de réalisation, chaque fil interne présente un diamètre  $D_1'$ , chaque fil intermédiaire présente un diamètre  $D_2'$  et chaque fil externe présente un diamètre  $D_3'$ . Les rayons d'enroulement  $R_1'$ ,  $R_2'$  et  $R_3'$  sont mesurés sur une coupe transversale perpendiculaire à l'axe principal de chaque toron externe pris individuellement et correspondent à la distance entre le centre de l'hélice décrite par respectivement chaque fil interne, intermédiaire et externe et le centre du toron externe.

**[039]** Dans des modes de réalisation préférés, la couche interne du câble présentant un module  $E_I$ ,  $25 \text{ GPa} \leq E_I \leq 180 \text{ GPa}$ , de préférence  $36 \text{ GPa} \leq E_I \leq 180 \text{ GPa}$ .

**[040]** Les câbles selon l'invention présentant une architecture dans laquelle  $J > 1$ , les efforts transversaux les plus sévères qui s'exercent dans le câble lorsque celui-ci est mis en tension sont les efforts transversaux s'exerçant entre les torons internes, notamment dans le cas où la couche externe du câble est désaturée, au contraire d'un câble dans lequel  $J = 1$  et dans lequel les efforts transversaux les plus sévères sont les efforts transversaux exercés par les torons externes sur les torons internes, notamment dans le cas où la couche externe du câble est désaturée.

**[041]** Dans une première variante dans laquelle la couche interne du câble présente un module relativement faible, la couche interne du câble présentant un module  $E_I$ ,  $25 \text{ GPa} \leq E_I \leq 94 \text{ GPa}$ , de préférence  $36 \text{ GPa} \leq E_I \leq 94 \text{ GPa}$ . Ainsi, plus le module de la couche interne est faible, mieux seront repris les efforts principaux et meilleure sera la force à rupture du câble. On maximise ici la force à rupture du câble en utilisant un module de la couche interne relativement faible. Dans une variante particulière,  $25 \text{ GPa} \leq E_I \leq 102 \text{ GPa}$ , de préférence  $36 \text{ GPa} \leq E_I \leq 102 \text{ GPa}$ .

**[042]** Dans une deuxième variante dans laquelle la couche interne du câble présente un module plus élevé, la couche interne du câble présentant un module  $E_I$ ,  $95 \text{ GPa} \leq E_I \leq 180 \text{ GPa}$ .

**[043]** Dans un mode de réalisation dans lequel la couche interne du câble et le câble présentent des modules relativement proches,  $0,60 \leq E_C/E_I \leq 1,20$ . Dans ce mode de réalisation, les inventeurs émettent l'hypothèse que l'âme et la couche travaillent sensiblement ensemble lorsque le câble est sollicité, notamment en traction. Ainsi, on maximise le compromis entre force à rupture du câble et résistance aux coupures.

**[044]** Dans un autre mode de réalisation dans lequel la couche interne du câble et le câble présentent des modules relativement différents,  $E_C/E_I \leq 0,59$  ou  $1,21 \leq E_C/E_I$ .

**[045]** Dans une variante, la couche interne du câble présente un module relativement élevé par rapport au module du câble, c'est-à-dire  $E_C/E_I \leq 0,59$ , de préférence  $0,40 \leq E_C/E_I \leq$

0,59. Dans cette variante, on favorise la résistance aux coupures du câble par rapport à sa force à rupture.

**[046]** Dans une autre variante, la couche interne du câble présente un module relativement faible par rapport au module du câble, c'est-à-dire  $1,21 \leq EC/EI$ , de préférence  $1,21 \leq EC/EI \leq 3,00$ . Dans cette variante, on favorise la force à rupture du câble par rapport à sa résistance aux coupures.

**[047]** Dans des modes préférés de l'invention, les câbles présentent les caractéristiques structurales avantageuses suivantes.

**[048]** Dans un mode de réalisation préféré, l'angle d'hélice  $\alpha$  de chaque toron interne dans la couche interne du câble va :

- de  $7^\circ$  à  $38^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à deux couches,
- de  $4^\circ$  à  $41^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à trois couches,
- de  $3^\circ$  à  $36^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à deux couches et des torons externes à trois couches,
- de  $4^\circ$  à  $36^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à trois couches et des torons externes à deux couches.

Dans la variante particulière, l'angle d'hélice  $\alpha$  de chaque toron interne dans la couche interne du câble va de  $5^\circ$  à  $42^\circ$ .

**[049]** En contrôlant principalement la valeur de l'angle d'hélice  $\alpha$ , on contrôle largement la valeur du module associé à la couche interne du câble. En effet, l'angle d'hélice  $\alpha$  intervient majoritairement par rapport aux angles des fils des couches dont la contribution au module est plus faible. Ainsi, plus l'angle d'hélice  $\alpha$  de chaque toron interne est élevé, moins le module associé à la couche interne est élevé. Ainsi, Avantageusement, les torons internes sont enroulés en hélice à un pas  $PI$  allant de 10 mm à 65 mm, de préférence de 10 mm à 45 mm.

**[050]** Dans un mode de réalisation préféré, l'angle d'hélice  $\alpha'$  de chaque toron externe dans la couche externe du câble va

- de  $7^\circ$  à  $38^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à deux couches,
- de  $13^\circ$  à  $36^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à trois couches,
- de  $10^\circ$  à  $34^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à deux couches et des torons externes à trois couches,
- de  $10^\circ$  à  $32^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à trois couches et des torons externes à deux couches.

Dans la variante particulière, l'angle d'hélice  $\alpha$  de chaque toron interne dans la couche interne du câble va de  $10^\circ$  à  $32^\circ$ .

**[051]** De façon analogue à l'angle d'hélice  $\alpha$ , en contrôlant principalement la valeur de l'angle d'hélice  $\alpha'$ , on contrôle largement la valeur du module associé à la couche externe du câble. En effet, l'angle d'hélice  $\alpha'$  intervient majoritairement par rapport aux angles des fils des couches dont la contribution au module est plus faible. Ainsi, plus l'angle d'hélice  $\alpha'$  de chaque toron externe est élevé, moins le module associé à la couche externe est élevé. Avantageusement, les L torons externes sont enroulés en hélice à un pas PE allant de 30 mm à 65 mm, de préférence de 30 mm à 60 mm.

**[052]** Dans la variante particulière utilisant des torons internes à deux couches,  $20^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 136^\circ$ .

**[053]** Dans la variante particulière utilisant des torons internes à trois couches,  $50^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 80^\circ$ .

**[054]** Dans la variante particulière utilisant des torons externes à deux couches,  $39^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 100^\circ$ .

**[055]** Dans la variante particulière utilisant des torons externes à trois couches,  $65^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 95^\circ$ .

**[056]** Dans le mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à deux couches,  $11^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 110^\circ$  et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$ , on a avantageusement  $11^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 74^\circ$ , et
- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ , on a avantageusement  $16^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 110^\circ$ .

**[057]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à trois couches,  $25^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 158^\circ$  et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$ , on a avantageusement  $25^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 140^\circ$ , et
- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ , on a avantageusement  $36^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 158^\circ$ .

**[058]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à deux couches et des torons externes à trois couches,  $16^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 105^\circ$  et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$ , on a avantageusement  $16^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 86^\circ$ , et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q > 1$ , on a avantageusement  $20^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 105^\circ$ .

**[059]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à trois couches et des torons externes à deux couches,  $26^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 162^\circ$ , et

- 5
- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q = 1$ , on a avantageusement  $26^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 140^\circ$ , et
  - dans un mode de réalisation dans lequel  $Q > 1$ , on a avantageusement  $36^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 162^\circ$ .

10 **[060]** Dans le mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à deux couches,  $23^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 97^\circ$ , et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q' = 1$ , on a avantageusement  $23^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 85^\circ$ , et
- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q' > 1$ , on a avantageusement  $28^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 97^\circ$ .

15 **[061]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à trois couches,  $48^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 154^\circ$ , et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q' = 1$ , on a avantageusement  $48^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 145^\circ$ , et
- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q' > 1$ , on a avantageusement  $61^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 154^\circ$ .

20

**[062]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à deux couches et des torons externes à trois couches,  $47^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 147^\circ$ , et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q' = 1$ , on a avantageusement  $47^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 147^\circ$ , et

25

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q' > 1$ , on a avantageusement  $62^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 140^\circ$ .

**[063]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à trois couches et des torons externes à deux couches,  $28^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 96^\circ$ , et

- dans mode de réalisation dans lequel  $Q' = 1$ , on a avantageusement  $28^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 86^\circ$ .

30

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q' > 1$ , on a avantageusement  $34^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 96^\circ$ .

**[064]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à deux couches,  $28^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 96^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q'=1$ , on a  
 5 avantageusement  $28^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 86^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q' > 1$ , on a avantageusement  $34^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 96^\circ$ . Dans la variante particulière,  $73^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 195^\circ$ .

**[065]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à trois couches,  $84^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 280^\circ$ . Dans un mode de réalisation  
 10 dans lequel  $Q=1$  et  $Q'=1$ , on a avantageusement  $84^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 246^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q > 1$ ,  $Q'=1$ , on a avantageusement  $96^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 261^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q' > 1$ , on a avantageusement  $88^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 254^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q > 1$ ,  $Q' > 1$ , on a avantageusement  $101^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 280^\circ$ . Dans la variante particulière,  $130^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 170^\circ$ .

**[066]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à deux couches et des torons externes à trois couches,  $84^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 226^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q'=1$ , on a avantageusement  $84^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 199^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q > 1$ ,  $Q'=1$ , on a avantageusement  
 20  $88^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 206^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q' > 1$ , on a avantageusement  $96^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 214^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q > 1$ ,  $Q' > 1$ , on a avantageusement  $99^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 226^\circ$ . Dans la variante particulière,  $110^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 150^\circ$ .

**[067]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à trois couches et des  
 25 torons externes à deux couches,  $64^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 224^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q'=1$ , on a avantageusement  $64^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 200^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q > 1$ ,  $Q'=1$ , on a avantageusement  $73^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 212^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et

$Q' > 1$ , on a avantageusement  $68^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 220^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q > 1$ ,  $Q' > 1$ , on a avantageusement  $80^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 224^\circ$ . Dans la variante particulière,  $110^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 150^\circ$ .

**[068]** Pour des diamètres de fils utilisés identiques ou proches, les angles ainsi définis permettent de définir structurellement un câble conforme à l'invention facile à fabriquer industriellement en jouant uniquement sur les angles d'hélice  $\alpha$ ,  $\alpha'$ ,  $\beta$ ,  $\beta'$ ,  $\delta$ ,  $\delta'$ ,  $\gamma$  et  $\gamma'$ .

**[069]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à deux couches :

- Dans le cas où  $Q > 1$ , l'angle d'hélice  $\beta$  de chaque fil interne dans la couche interne au sein de chaque toron interne va de  $4^\circ$  à  $25^\circ$ , de préférence  $4^\circ$  à  $17^\circ$ . Avantageusement, les  $Q$  fils internes de chaque toron interne sont assemblés au sein de chaque toron interne à un pas  $p_1$  allant de 2 à 20 mm, de préférence de 5 à 20 mm.
- Dans le cas où  $Q = 1$ , l'angle d'hélice  $\gamma$  de chaque fil externe dans la couche externe au sein de chaque toron interne va de  $6^\circ$  à  $31^\circ$ , de préférence de  $5^\circ$  à  $26^\circ$ . Avantageusement, les  $N$  fils externes de chaque toron interne sont assemblés au sein de chaque toron interne à un pas  $p_2$  allant de 4 à 40 mm, de préférence de 5 à 30 mm.
- Dans le cas où  $Q > 1$ , l'angle d'hélice  $\gamma$  de chaque fil externe dans la couche externe au sein de chaque toron interne va de  $5^\circ$  à  $31^\circ$ . Avantageusement, les  $N$  fils externes de chaque toron interne sont assemblés au sein de chaque toron interne à un pas  $p_2$  allant de 4 à 40 mm.
- Dans le cas où  $Q' > 1$ , l'angle d'hélice  $\beta'$  de chaque fil interne dans la couche interne au sein de chaque toron externe va de  $4^\circ$  à  $25^\circ$ , de préférence de  $4^\circ$  à  $17^\circ$ . Avantageusement, les  $Q'$  fils internes de chaque toron externe sont assemblés au sein de chaque toron externe à un pas  $p_1'$  allant de 2 à 20 mm, de préférence de 5 à 20 mm.
- Dans le cas où  $Q = 1$ , l'angle d'hélice  $\gamma'$  de chaque fil externe dans la couche externe au sein de chaque toron externe va de  $6^\circ$  à  $31^\circ$ , de préférence de  $5^\circ$  à  $26^\circ$ . Avantageusement, les  $N'$  fils externes de chaque toron interne sont assemblés au sein de chaque toron externe à un pas  $p_2'$  allant de 4 à 40 mm de préférence de 5 à 30 mm.
- Dans le cas où  $Q > 1$ , l'angle d'hélice  $\gamma'$  de chaque fil externe dans la couche externe au sein de chaque toron externe va de  $5^\circ$  à  $31^\circ$ . Avantageusement, les  $N'$  fils externes de chaque toron interne sont assemblés au sein de chaque

toron externe à un pas  $p_2'$  allant de 4 à 40 mm.

- Dans la variante particulière :
  - i. si  $Q > 1$ ,  $\beta$  va de  $4^\circ$  à  $25^\circ$  et  $p_1$  va de 2 à 20 mm,
  - ii.  $\gamma$  va de  $6^\circ$  à  $31^\circ$  et  $p_2$  va de 4 à 40 mm,
  - iii. si  $Q' > 1$ ,  $\beta'$  va de  $4^\circ$  à  $25^\circ$  et  $p_1$  va de 2 à 20 mm,
  - iv.  $\gamma'$  va de  $6^\circ$  à  $31^\circ$  et  $p_2$  va de 4 à 40 mm.

**[070]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à trois couches :

- Dans le cas où  $Q > 1$ , l'angle d'hélice  $\beta$  de chaque fil interne dans la couche interne au sein de chaque toron interne va de  $4^\circ$  à  $17^\circ$ . Avantageusement, dans le cas où  $Q > 1$ , les  $Q$  fils internes de chaque toron interne sont assemblés au sein de chaque toron interne à un pas  $p_1$  allant de 5 à 15 mm. Dans le cas où  $Q = 1$ , l'angle d'hélice  $\delta$  de chaque fil intermédiaire dans la couche intermédiaire au sein de chaque toron interne va de  $6^\circ$  à  $30^\circ$ . Avantageusement, les  $P$  fils intermédiaires de chaque toron interne sont assemblés au sein de chaque toron interne à un pas  $p_2$  allant de 5 à 20 mm.
- Dans le cas où  $Q > 1$ , l'angle d'hélice  $\delta$  de chaque fil intermédiaire dans la couche intermédiaire au sein de chaque toron interne va de  $8^\circ$  à  $22^\circ$ . Avantageusement, les  $P$  fils intermédiaires de chaque toron interne sont assemblés au sein de chaque toron interne à un pas  $p_2$  allant de 10 à 20 mm.
- Dans le cas où  $Q = 1$ , l'angle d'hélice  $\gamma$  de chaque fil externe dans la couche externe au sein de chaque toron interne va de  $7^\circ$  à  $30^\circ$ . Avantageusement, les  $N$  fils externes de chaque toron interne sont assemblés au sein de chaque toron interne à un pas  $p_3$  allant de 10 à 40 mm.
- Dans le cas où  $Q > 1$ , l'angle d'hélice  $\gamma$  de chaque fil externe dans la couche externe au sein de chaque toron interne va de  $9^\circ$  à  $25^\circ$ . Avantageusement, les  $N$  fils externes de chaque toron interne sont assemblés au sein de chaque toron interne à un pas  $p_3$  allant de 10 à 40 mm.
- Dans le cas où  $Q' > 1$ , l'angle d'hélice  $\beta'$  de chaque fil interne dans la couche interne au sein de chaque toron externe va de  $4^\circ$  à  $20^\circ$ . Avantageusement, les  $Q'$  fils internes de chaque toron externe sont assemblés au sein de chaque toron externe à un pas  $p_1'$  allant de 5 à 15 mm.
- Dans le cas où  $Q' = 1$ , l'angle d'hélice  $\delta'$  de chaque fil intermédiaire dans la couche intermédiaire au sein de chaque toron externe va de  $6^\circ$  à  $22^\circ$ . Avantageusement, les  $P'$  fils intermédiaires de chaque toron externe sont assemblés au sein de chaque toron externe à un pas  $p_2'$  allant de 5 à 20 mm.

- 5

  - Dans le cas où  $Q' > 1$ , l'angle d'hélice  $\delta'$  de chaque fil intermédiaire dans la couche intermédiaire au sein de chaque toron externe va de  $8^\circ$  à  $22^\circ$ . Avantageusement, les  $P'$  fils intermédiaires de chaque toron externe sont assemblés au sein de chaque toron externe à un pas  $p2'$  allant de 10 à 20 mm.
- 10

  - Dans le cas où  $Q' = 1$ , l'angle d'hélice  $\gamma'$  de chaque fil externe dans la couche externe au sein de chaque toron externe va de  $7^\circ$  à  $22^\circ$ . Avantageusement, les  $N'$  fils externes de chaque toron externe sont assemblés au sein de chaque toron externe à un pas  $p3'$  allant de 10 à 40 mm
  - Dans le cas où  $Q' > 1$ , l'angle d'hélice  $\gamma'$  de chaque fil externe dans la couche externe au sein de chaque toron externe va de  $9^\circ$  à  $25^\circ$ . Avantageusement, les  $N'$  fils externes de chaque toron externe sont assemblés au sein de chaque toron externe à un pas  $p3'$  allant de 10 à 40 mm.
  - Dans la variante particulière :
    - 15
      - i. si  $Q > 1$ ,  $\beta$  va de  $7^\circ$  à  $17^\circ$  et  $p1$  va de 1 à 10 mm,
      - ii.  $\delta$  va de  $7^\circ$  à  $17^\circ$  et  $p2$  va de 2 à 20 mm,
      - iii.  $\gamma$  va de  $7^\circ$  à  $17^\circ$  et  $p3$  va de 4 à 40 mm,
      - iv. si  $Q' > 1$ ,  $\beta'$  va de  $10^\circ$  à  $20^\circ$  et  $p1'$  va de 1 à 10 mm,
      - v.  $\delta'$  va de  $10^\circ$  à  $20^\circ$  et  $p2'$  va de 2 à 20 mm,
      - 20
        - vi.  $\gamma'$  va de  $10^\circ$  à  $20^\circ$  et  $p3'$  va de 4 à 40 mm.

**[071]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à deux couches et des torons externes à trois couches :

- 25

  - Dans le cas où  $Q > 1$ , l'angle d'hélice  $\beta$  de chaque fil interne dans la couche interne au sein de chaque toron interne va de  $4^\circ$  à  $17^\circ$ . Avantageusement, dans le cas où  $Q > 1$ , les  $Q$  fils internes de chaque toron interne sont assemblés au sein de chaque toron interne à un pas  $p1$  allant de 5 à 20 mm.
  - Dans le cas où  $Q > 1$ , l'angle d'hélice  $\gamma$  de chaque fil externe dans la couche externe au sein de chaque toron interne va de  $7^\circ$  à  $20^\circ$ . Avantageusement, les  $N$  fils externes de chaque toron interne sont assemblés au sein de chaque toron interne à un pas  $p2$  allant de 5 à 40 mm.
- 30

  - Dans le cas où  $Q = 1$ , l'angle d'hélice  $\gamma$  de chaque fil externe dans la couche externe au sein de chaque toron interne va de  $5^\circ$  à  $26^\circ$ . Avantageusement, les  $N$  fils externes de chaque toron interne sont assemblés au sein de chaque toron interne à un pas  $p2$  allant de 5 à 30 mm.
- 35

  - Dans le cas où  $Q' > 1$ , l'angle d'hélice  $\beta'$  de chaque fil interne dans la couche interne au sein de chaque toron externe va de  $4^\circ$  à  $20^\circ$ . Avantageusement, les

$Q'$  fils internes de chaque toron externe sont assemblés au sein de chaque toron externe à un pas  $p1'$  allant de 5 à 15 mm.

- Dans le cas où  $Q'=1$ , l'angle d'hélice  $\delta'$  de chaque fil intermédiaire dans la couche intermédiaire au sein de chaque toron externe va de  $6^\circ$  à  $22^\circ$ .  
Avantageusement, les  $P'$  fils intermédiaires de chaque toron externe sont assemblés au sein de chaque toron externe à un pas  $p2'$  allant de 5 à 20 mm.

- Dans le cas où  $Q'>1$ , l'angle d'hélice  $\delta'$  de chaque fil intermédiaire dans la couche intermédiaire au sein de chaque toron externe va de  $8^\circ$  à  $22^\circ$ .  
Avantageusement, les  $P'$  fils intermédiaires de chaque toron externe sont assemblés au sein de chaque toron externe à un pas  $p2'$  allant de 10 à 20 mm.

- Dans le cas où  $Q'=1$ , l'angle d'hélice  $\gamma'$  de chaque fil externe dans la couche externe au sein de chaque toron externe va de  $7^\circ$  à  $22^\circ$ . Avantageusement, les  $N'$  fils externes de chaque toron externe sont assemblés au sein de chaque toron externe à un pas  $p3'$  allant de 10 à 40 mm.

- Dans le cas où  $Q'>1$ , l'angle d'hélice  $\gamma'$  de chaque fil externe dans la couche externe au sein de chaque toron externe va de  $9^\circ$  à  $25^\circ$ . Avantageusement, les  $N'$  fils externes de chaque toron externe sont assemblés au sein de chaque toron externe à un pas  $p3'$  allant de 10 à 40 mm.

- Dans la variante particulière :
  - i. Si  $Q>1$ ,  $\beta$  va de  $7^\circ$  à  $17^\circ$  et  $p1$  va de 2 à 20 mm,
  - ii.  $\gamma$  va de  $7^\circ$  à  $17^\circ$  et  $p2$  va de 4 à 40 mm,
  - iii. Si  $Q'>1$ ,  $\beta'$  va de  $10^\circ$  à  $20^\circ$  et  $p1'$  va de 1 à 10 mm,
  - iv.  $\delta'$  va de  $10^\circ$  à  $20^\circ$  et  $p2'$  va de 2 à 20 mm,
  - v.  $\gamma'$  va de  $10^\circ$  à  $20^\circ$  et  $p3'$  va de 4 à 40 mm.

**[072]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à trois couches et des torons externes à deux couches :

- Dans le cas où  $Q>1$ , l'angle d'hélice  $\beta$  de chaque fil interne dans la couche interne au sein de chaque toron interne va de  $4^\circ$  à  $17^\circ$ . Avantageusement, dans le cas où  $Q>1$ , les  $Q$  fils internes de chaque toron interne sont assemblés au sein de chaque toron interne à un pas  $p1$  allant de 5 à 15 mm.
- Dans le cas où  $Q=1$ , l'angle d'hélice  $\delta$  de chaque fil intermédiaire dans la couche intermédiaire au sein de chaque toron interne va de  $6^\circ$  à  $30^\circ$ . Avantageusement, les  $P$  fils intermédiaires de chaque toron interne sont assemblés au sein de chaque toron interne à un pas  $p2$  allant de 5 à 20 mm.
- Dans le cas où  $Q>1$ , l'angle d'hélice  $\delta$  de chaque fil intermédiaire dans la

couche intermédiaire au sein de chaque toron interne va de  $8^\circ$  à  $22^\circ$ .  
Avantageusement, les P fils intermédiaires de chaque toron interne sont  
assemblés au sein de chaque toron interne à un pas  $p_2$  allant de 10 à 20 mm.

- Dans le cas où  $Q=1$ , l'angle d'hélice  $\gamma$  de chaque fil externe dans la couche  
externe au sein de chaque toron interne va de  $7^\circ$  à  $30^\circ$ . Avantageusement, les  
N fils externes de chaque toron interne sont assemblés au sein de chaque  
toron interne à un pas  $p_3$  allant de 10 à 40 mm.

- Dans le cas où  $Q>1$ , l'angle d'hélice  $\gamma$  de chaque fil externe dans la couche  
externe au sein de chaque toron interne va de  $9^\circ$  à  $25^\circ$ . Avantageusement, les  
N fils externes de chaque toron interne sont assemblés au sein de chaque  
toron interne à un pas  $p_3$  allant de 10 à 40 mm.

- Dans le cas où  $Q'>1$ , l'angle d'hélice  $\beta'$  de chaque fil interne dans la couche  
interne au sein de chaque toron externe va de  $4^\circ$  à  $17^\circ$ . Avantageusement, les  
 $Q'$  fils internes de chaque toron externe sont assemblés au sein de chaque  
toron externe à un pas  $p_1'$  allant de 5 à 20 mm. Dans le cas où  $Q'>1$ , l'angle  
d'hélice  $\gamma'$  de chaque fil externe dans la couche externe au sein de chaque  
toron externe va de  $7^\circ$  à  $20^\circ$ . Avantageusement, les  $N'$  fils externes de chaque  
toron externe sont assemblés au sein de chaque toron externe à un pas  $p_2'$   
allant de 5 à 40 mm.

- Dans le cas où  $Q'=1$ , l'angle d'hélice  $\gamma'$  de chaque fil externe dans la couche  
externe au sein de chaque toron externe va de  $5^\circ$  à  $26^\circ$ . Avantageusement,  
les  $N'$  fils externes de chaque toron externe sont assemblés au sein de  
chaque toron externe à un pas  $p_2'$  allant de 5 à 30 mm.

- Dans la variante particulière :

- Si  $Q>1$ ,  $\beta$  va de  $7^\circ$  à  $17^\circ$  et  $p_1$  va de 1 à 10 mm,
- $\delta$  va de  $7^\circ$  à  $17^\circ$  et  $p_2$  va de 2 à 20 mm,
- $\gamma$  va de  $7^\circ$  à  $17^\circ$  et  $p_3$  va de 4 à 40 mm,
- Si  $Q'>1$ ,  $\beta'$  va de  $7^\circ$  à  $17^\circ$  et  $p_1'$  va de 2 à 20 mm,
- $\gamma'$  va de  $7^\circ$  à  $17^\circ$  et  $p_2'$  va de 4 à 40 mm.

**[073]** Pour des diamètres de fils utilisés identiques ou proches, les angles ainsi définis  
permettent de définir structurellement la couche interne du câble et les torons internes de  
cette couche afin d'obtenir un câble conforme à l'invention facile à fabriquer industriellement  
en jouant uniquement sur les angles des fils des couches. De plus, les pas  $p_1$ ,  $p_1'$ ,  $p_2$ ,  $p_2'$  et  
 $p_3$ ,  $p_3'$  dans ces plages préférentielles permettent d'obtenir un câble présentant des  
propriétés mécaniques compatibles avec un usage pneumatique, un coût et une masse  
linéique du câble relativement faible.

**[074] Câbles à très bas module de l'invention**

**[075]** Dans un mode de réalisation, le câble présente un module très bas, c'est-à-dire  $50 \text{ GPa} \leq EC \leq 89 \text{ GPa}$ . Dans ce mode de réalisation, on privilégie la capacité du câble à épouser les obstacles rencontrés par rapport à la capacité du câble à conférer une

**[076]** Dans des variantes préférées de câbles à très bas module,  $25 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ , de préférence  $36 \text{ GPa} \leq EI \leq 175 \text{ GPa}$ . Dans la variante particulière,  $25 \text{ GPa} \leq EI \leq 175 \text{ GPa}$ .

**[077]** Dans une première variante dans laquelle la couche interne du câble à très bas module présente un module relativement faible,  $25 \text{ GPa} \leq EI \leq 94 \text{ GPa}$ , de préférence  $36 \text{ GPa} \leq EI \leq 94 \text{ GPa}$ . Dans la variante particulière,  $25 \text{ GPa} \leq EI \leq 102 \text{ GPa}$ . Comme expliqué ci-dessus, on maximise ici la force à rupture du câble en utilisant un module de la couche interne relativement faible.

**[078]** Dans une deuxième variante dans laquelle la couche interne du câble à très bas module présente un module plus élevé,  $95 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ , de préférence  $95 \text{ GPa} \leq EI \leq 175 \text{ GPa}$ . Dans la variante particulière,  $103 \text{ GPa} \leq EI \leq 175 \text{ GPa}$ . Du fait du très bas module du câble, une valeur relativement élevée du module de la couche interne entraîne une valeur relativement faible du module de la couche externe et donc une excellente résistance aux coupures du câble.

**[079]** Dans un mode de réalisation dans lequel la couche interne du câble et le câble à très bas module présentent des modules relativement proches,  $0,60 \leq EC/EI \leq 1,20$ . Dans cette variante, les inventeurs émettent l'hypothèse que l'âme et la couche travaillent sensiblement ensemble lorsque le câble à très bas module est sollicité, notamment en traction. Ainsi, on maximise le compromis entre force à rupture du câble et résistance aux coupures.

**[080]** Dans un mode de réalisation dans lequel les couches interne et externe du câble à très bas module présentent des modules relativement différents,  $EC/EI \leq 0,59$  ou  $1,21 \leq EC/EI$ .

**[081]** Dans une variante, la couche interne du câble à très bas module présente un module relativement élevé par rapport au module de la couche externe du câble à très bas module, c'est-à-dire  $EC/EI \leq 0,59$ , de préférence  $0,40 \leq EC/EI \leq 0,59$ . Dans cette variante, on favorise la résistance aux coupures du câble par rapport à sa force à rupture.

**[082]** Dans une autre variante, la couche interne du câble à très bas module présente un module relativement petit par rapport au module de la couche externe du câble à très bas module, c'est-à-dire  $1,21 \leq EC/EI$ , de préférence  $1,21 \leq EC/EI \leq 3,00$ . Dans cette variante, on favorise la force à rupture du câble par rapport à sa résistance aux coupures.

**[083]** Dans des variantes préférées de l'invention, les câbles à très bas module présentent les caractéristiques structurelles avantageuses suivantes.

**[084]** Dans des variantes préférées de l'invention, les câbles à très bas module présentent les caractéristiques structurelles avantageuses suivantes.

**[085]** Dans un mode de réalisation préféré, l'angle d'hélice  $\alpha$  de chaque toron interne dans la couche interne du câble va :

- 5           - de  $3^\circ$  à  $42^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à deux couches,
- de  $6^\circ$  à  $41^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à trois couches,
- 10          - de  $5^\circ$  à  $36^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à deux couches et des torons externes à trois couches,
- de  $4^\circ$  à  $36^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à trois couches et des torons externes à deux couches.

Dans la variante particulière, l'angle d'hélice  $\alpha$  de chaque toron interne dans la couche interne du câble va de  $9^\circ$  à  $42^\circ$ .

15   **[086]** Dans un mode de réalisation préféré, l'angle d'hélice  $\alpha'$  de chaque toron externe dans la couche externe du câble va :

- de  $13^\circ$  à  $38^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à deux couches,
- 20          - de  $18^\circ$  à  $36^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à trois couches,
- de  $14^\circ$  à  $34^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à deux couches et des torons externes à trois couches,
- de  $13^\circ$  à  $32^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à trois couches et des torons externes à deux couches.

25          Dans la variante particulière, l'angle d'hélice  $\alpha$  de chaque toron interne dans la couche interne du câble va de  $13^\circ$  à  $32^\circ$ .

**[087]** Dans la variante particulière utilisant des torons internes à deux couches,  $29^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 136^\circ$ .

30   **[088]** Dans la variante particulière utilisant des torons internes à trois couches,  $50^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 80^\circ$ .

**[089]** Dans la variante particulière utilisant des torons externes à deux couches,  $42^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 90^\circ$ .

**[090]** Dans la variante particulière utilisant des torons externes à trois couches,  $65^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 95^\circ$ .

35   **[091]** Dans le mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à deux couches,  $16^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 110^\circ$ , et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$ , on a avantageusement  $16^\circ \leq$

$$2\alpha + \beta + \gamma \leq 74^\circ, \text{ et}$$

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q > 1$ , on a avantageusement  $23^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 110^\circ$ .

**[092]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à trois couches,  $29^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 158^\circ$ , et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$ , on a avantageusement  $29^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 140^\circ$ , et
- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q > 1$ , on a avantageusement  $42^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 158^\circ$ .

**[093]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à deux couches et des torons externes à trois couches,  $20^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 105^\circ$ , et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$ , on a avantageusement  $20^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 86^\circ$ , et
- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q > 1$ , on a avantageusement  $27^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 105^\circ$ .

**[094]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à trois couches et des torons externes à deux couches,  $35^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 162^\circ$ , et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$ , on a avantageusement  $35^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 140^\circ$ , et
- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q > 1$ , on a avantageusement  $36^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 162^\circ$ .

**[095]** Dans le mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à deux couches,  $43^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 97^\circ$ , et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q'=1$ , on a avantageusement  $47^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 85^\circ$ , et
- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q' > 1$ , on a avantageusement  $43^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 97^\circ$ .

**[096]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à trois couches,  $65^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 153^\circ$ , et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q'=1$ , on a avantageusement  $65^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 143^\circ$ , et
- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q' > 1$ , on a avantageusement  $78^\circ \leq$

$$3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 153^\circ.$$

**[097]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à deux couches et des torons externes à trois couches,  $66^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 147^\circ$ , et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q'=1$ , on a avantageusement  $66^\circ \leq$

5  $3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 147^\circ$ , et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q'>1$ , on a avantageusement  $75^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 140^\circ$ .

**[098]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à trois couches et des torons externes à deux couches,  $34^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 96^\circ$ , et

- 10
  - dans un mode de réalisation dans lequel  $Q'=1$ , on a avantageusement  $34^\circ \leq$

$$2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 86^\circ, \text{ et}$$

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q'>1$ , on a avantageusement  $42^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 96^\circ$ .

**[099]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à  
 15 deux couches,  $85^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 184^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q'=1$ , on a avantageusement  $85^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 145^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ ,  $Q'=1$ , on a avantageusement  $108^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 154^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q'>1$ , on a avantageusement  $90^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 151^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ ,  $Q'>1$ ,  
 20 on a avantageusement  $110^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 184^\circ$ . Dans la variante particulière,  $109^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 195^\circ$ .

**[0100]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à trois couches,  $138^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 280^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q'=1$ , on a avantageusement  $138^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq$   
 25  $246^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ ,  $Q'=1$ , on a avantageusement  $144^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 261^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q'>1$ , on a avantageusement  $148^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 254^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ ,  $Q'>1$ , on a avantageusement  $144^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 280^\circ$ . Dans la variante particulière,  $130^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 170^\circ$ .

30 **[0101]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à deux couches et des

torons externes à trois couches,  $146^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 226^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q'=1$ , on a avantageusement  $134^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 199^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ ,  $Q'=1$ , on a avantageusement  $130^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 206^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et

5  $Q'>1$ , on a avantageusement  $152^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 214^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ ,  $Q'>1$ , on a avantageusement  $146^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 226^\circ$ . Dans la variante particulière,  $110^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 150^\circ$ .

**[0102]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à trois couches et des torons externes à deux couches,  $100^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 224^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q'=1$ , on a avantageusement  $100^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 200^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ ,  $Q'=1$ , on a avantageusement  $104^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 212^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q'>1$ , on a avantageusement  $117^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 220^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ ,  $Q'>1$ , on a avantageusement  $121^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 224^\circ$ . Dans la variante particulière,  $110^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 150^\circ$ .

**[0103]** Pour des diamètres de fils utilisés identiques ou proches, les angles ainsi définis permettent de définir structurellement la couche interne du câble et les torons internes de cette couche afin d'obtenir un câble conforme à l'invention facile à fabriquer industriellement en jouant uniquement sur les angles des fils des couches. De plus, les pas  $p_1$ ,  $p_1'$ ,  $p_2$ ,  $p_2'$  et  $p_3$ ,  $p_3'$  dans ces plages préférentielles permettent d'obtenir un câble présentant des propriétés mécaniques compatibles avec un usage pneumatique, un coût et une masse linéique du câble relativement faible.

**[0104]** Les valeurs des angles d'hélice  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\beta'$ ,  $\gamma'$ ,  $\delta'$ , ainsi que celles des pas  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ ,  $p_1'$ ,  $p_2'$ ,  $p_3'$  permettant d'obtenir des câbles à très bas module sont identiques à celles déjà décrites ci-dessus.

#### **[0105] Câbles à bas module de l'invention**

**[0106]** Dans un autre mode de réalisation, le câble présente un module bas, c'est-à-dire  $90 \text{ GPa} \leq EC \leq 130 \text{ GPa}$ . Dans ce mode de réalisation, on adopte un compromis équilibré entre la capacité du câble à épouser les obstacles rencontrés et la capacité du câble à conférer une directionnalité élevée du pneumatique.

**[0107]** Dans des variantes préférées de câbles à bas module,  $25 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ , de

préférence  $64 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ . Dans la variante préférée,  $35 \text{ GPa} \leq EI \leq 175 \text{ GPa}$ .

**[0108]** Dans une première variante dans laquelle la couche interne du câble à bas module présente un module relativement faible,  $25 \text{ GPa} \leq EI \leq 94 \text{ GPa}$ , de préférence,  $64 \text{ GPa} \leq EI \leq 94 \text{ GPa}$ . Dans la variante particulière,  $35 \text{ GPa} \leq EI \leq 102 \text{ GPa}$ . Comme expliqué ci-dessus, on maximise ici la force à rupture du câble en utilisant un module de la couche interne relativement faible.

**[0109]** Dans une deuxième variante dans laquelle la couche interne du câble à bas module présente un module plus élevé,  $95 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ . Dans la variante particulière,  $103 \text{ GPa} \leq EI \leq 175 \text{ GPa}$ .

**[0110]** Dans un mode de réalisation dans lequel la couche interne du câble et le câble à bas module présentent des modules relativement proches,  $0,60 \leq EC/EI \leq 1,20$ . Dans cette variante, les inventeurs émettent l'hypothèse que l'âme et la couche travaillent sensiblement ensemble lorsque le câble à bas module est sollicité, notamment en traction. Ainsi, on maximise le compromis entre force à rupture du câble et résistance aux coupures.

**[0111]** Dans un mode de réalisation dans lequel les couches interne et externe du câble à bas module présentent des modules relativement différents,  $EC/EI \leq 0,59$  ou  $1,21 \leq EC/EI$ .

**[0112]** Dans une variante, la couche interne du câble à bas module présente un module relativement élevé par rapport au module de la couche externe du câble à bas module, c'est-à-dire  $EC/EI \leq 0,59$ , de préférence  $0,40 \leq EC/EI \leq 0,59$ . Dans cette variante, on favorise la résistance aux coupures du câble par rapport à sa force à rupture.

**[0113]** Dans une autre variante, la couche interne du câble à bas module présente un module relativement petit par rapport au module de la couche externe du câble à bas module, c'est-à-dire  $1,21 \leq EC/EI$ , de préférence  $1,21 \leq EC/EI \leq 2,82$ . Dans cette variante, on favorise la force à rupture du câble par rapport à sa résistance aux coupures.

**[0114]** Dans des variantes préférées de l'invention, les câbles à très bas module présentent les caractéristiques structurelles avantageuses suivantes.

**[0115]** Dans un mode de réalisation préféré, l'angle d'hélice  $\alpha$  de chaque toron interne dans la couche interne du câble va :

- de  $3^\circ$  à  $36^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à deux couches,
- de  $4^\circ$  à  $31^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à trois couches,
- de  $3^\circ$  à  $31^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à deux couches et des torons externes à trois couches,
- de  $4^\circ$  à  $27^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à trois couches et des torons externes à deux couches.

Dans la variante particulière, l'angle d'hélice  $\alpha$  de chaque toron interne dans la couche

interne du câble va de  $5^\circ$  à  $36^\circ$ .

**[0116]** Dans un mode de réalisation préféré, l'angle d'hélice  $\alpha'$  de chaque toron externe dans la couche externe du câble va :

- 5           - de  $9^\circ$  à  $27^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à deux couches,
- de  $13^\circ$  à  $32^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à trois couches,
- de  $10^\circ$  à  $31^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à deux couches et des torons externes à trois couches,
- 10          - de  $11^\circ$  à  $31^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à trois couches et des torons externes à deux couches.

Dans la variante particulière, l'angle d'hélice  $\alpha$  de chaque toron interne dans la couche interne du câble va de  $10^\circ$  à  $25^\circ$ .

**[0117]** Dans la variante particulière utilisant des torons internes à deux couches,  $27^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 108^\circ$ .

**[0118]** Dans la variante particulière utilisant des torons internes à trois couches,  $50^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 80^\circ$ .

**[0119]** Dans la variante particulière utilisant des torons externes à deux couches,  $39^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 65^\circ$ .

20       **[0120]** Dans la variante particulière utilisant des torons externes à trois couches,  $65^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 95^\circ$ .

**[0121]** Dans le mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à deux couches,  $13^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 110^\circ$ , et

- 25           ○ dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$ , on a avantageusement  $13^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 74^\circ$ , et
- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ , on a avantageusement  $16^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 110^\circ$ .

**[0122]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à trois couches,  $25^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 125^\circ$ , et

- 30           ○ dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$ , on a avantageusement  $25^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 120^\circ$ , et
- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ , on a avantageusement  $36^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 125^\circ$ .

**[0123]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à deux couches et des

torons externes à trois couches,  $16^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 86^\circ$ , et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$ , on a avantageusement  $16^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 86^\circ$ , et
- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ , on a avantageusement  $19^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 85^\circ$ .

5

**[0124]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à trois couches et des torons externes à deux couches,  $26^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 128^\circ$ , et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$ , on a avantageusement  $26^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 113^\circ$ , et

10

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ , on a avantageusement  $36^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 128^\circ$ .

**[0125]** Dans le mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à deux couches,  $31^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 71^\circ$ , et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q'=1$ , on a avantageusement  $31^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 66^\circ$ , et
- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q'>1$ , on a avantageusement  $39^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 71^\circ$ .

15

**[0126]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à trois couches,  $54^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 123^\circ$ , et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q'=1$ , on a avantageusement  $54^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 118^\circ$ , et
- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q'>1$ , on a avantageusement  $65^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 123^\circ$ .

20

**[0127]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à deux couches et des torons externes à trois couches,  $54^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 125^\circ$ , et

25

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q'=1$ , on a avantageusement  $54^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 120^\circ$ , et
- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q'>1$ , on a avantageusement  $64^\circ$

$$\leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 125^\circ.$$

**[0128]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à trois couches et des torons externes à deux couches,  $28^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 89^\circ$ , et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q'=1$ , on a avantageusement  $28^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 85^\circ$ , et
- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q'>1$ , on a avantageusement  $36^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 89^\circ$ .

**[0129]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à deux couches,  $65^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 153^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q'=1$ , on a avantageusement  $65^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 117^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ ,  $Q'=1$ , on a avantageusement  $72^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 133^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q'>1$ , on a avantageusement  $81^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 130^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ ,  $Q'>1$ , on a avantageusement  $79^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 153^\circ$ . Dans la variante particulière,  $82^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 153^\circ$ .

**[0130]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à trois couches,  $107^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 211^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q'=1$ , on a avantageusement  $107^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 197^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ ,  $Q'=1$ , on a avantageusement  $113^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 206^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q'>1$ , on a avantageusement  $115^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 202^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ ,  $Q'>1$ , on a avantageusement  $120^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 211^\circ$ . Dans la variante particulière,  $130^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 170^\circ$ .

**[0131]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à deux couches et des torons externes à trois couches,  $87^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 172^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q'=1$ , on a avantageusement  $87^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 160^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ ,  $Q'=1$ , on a avantageusement  $90^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 165^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et

$Q' > 1$ , on a avantageusement  $111^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 166^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q > 1$ ,  $Q' > 1$ , on a avantageusement  $111^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 172^\circ$ . Dans la variante particulière,  $110^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 150^\circ$ .

**[0132]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à trois couches et des

5 torons externes à deux couches,  $74^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 183^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q'=1$ , on a avantageusement  $74^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 158^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q > 1$ ,  $Q'=1$ , on a avantageusement  $86^\circ \leq$

$3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 168^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q' > 1$ , on a avantageusement  $84^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 168^\circ$ . Dans un mode de

10 réalisation dans lequel  $Q > 1$ ,  $Q' > 1$ , on a avantageusement  $94^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 183^\circ$ . Dans la variante particulière,  $110^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 150^\circ$ .

**[0133]** Pour des diamètres de fils utilisés identiques ou proches, les angles ainsi définis permettent de définir structurellement la couche interne du câble et les torons internes de cette couche afin d'obtenir un câble conforme à l'invention facile à fabriquer industriellement en jouant uniquement sur les angles des fils des couches. De plus, les pas  $p_1$ ,  $p_1'$ ,  $p_2$ ,  $p_2'$  et  $p_3$ ,  $p_3'$  dans ces plages préférentielles permettent d'obtenir un câble présentant des propriétés mécaniques compatibles avec un usage pneumatique, un coût et une masse linéique du câble relativement faible.

**[0134]** Les valeurs des angles d'hélice  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\beta'$ ,  $\gamma'$ ,  $\delta'$ , ainsi que celles des pas  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ ,  $p_1'$ ,  $p_2'$ ,  $p_3'$  permettant d'obtenir des câbles à bas module sont identiques à celles déjà décrites ci-dessus.

#### **[0135] Câbles à moyen module de l'invention**

**[0136]** Dans encore un autre mode de réalisation, le câble présente un module moyen, c'est-à-dire  $131 \text{ GPa} \leq EC \leq 160 \text{ GPa}$ . Dans ce mode de réalisation, on privilégie la capacité du câble à conférer une directionnalité élevée du pneumatique par rapport à la capacité du câble à épouser les obstacles rencontrés.

**[0137]** Dans des variantes préférées de câbles à moyen module,  $78 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ , de préférence  $100 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ . Dans la variante préférée,  $125 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ .

30 **[0138]** Dans une première variante dans laquelle la couche interne du câble à moyen module présente un module relativement faible,  $78 \text{ GPa} \leq EI \leq 94 \text{ GPa}$ . Comme expliqué ci-dessus, on maximise ici la force à rupture du câble en utilisant un module de la couche

interne relativement faible.

**[0139]** Dans une deuxième variante dans laquelle la couche interne du câble à bas module présente un module plus élevé,  $95 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ .

**[0140]** Dans un mode de réalisation dans lequel la couche interne du câble et le câble à moyen module présentent des modules relativement proches,  $0,60 \leq EC/EI \leq 1,20$ , de préférence  $0,80 \leq EC/EI \leq 1,15$ . Dans ce mode de réalisation, les inventeurs émettent l'hypothèse que l'âme et la couche travaillent sensiblement ensemble lorsque le câble à moyen module est sollicité, notamment en traction. Ainsi, on maximise le compromis entre force à rupture du câble et résistance aux coupures.

**[0141]** Dans un mode de réalisation dans lequel les couches interne et externe du câble à moyen module présentent des modules relativement différents,  $EC/EI \leq 0,59$  ou  $1,21 \leq EC/EI$ .

**[0142]** Dans une variante, la couche interne du câble à moyen module présente un module relativement élevé par rapport au module de la couche externe du câble à moyen module, c'est-à-dire  $EC/EI \leq 0,59$ , de préférence  $0,40 \leq EC/EI \leq 0,59$ . Dans cette variante, on favorise la résistance aux coupures du câble par rapport à sa force à rupture.

**[0143]**

**[0144]** Dans une autre variante, la couche interne du câble à moyen module présente un module relativement petit par rapport au module de la couche externe du câble à moyen module, c'est-à-dire  $1,21 \leq EC/EI$ , de préférence  $1,21 \leq EC/EI \leq 3,00$ . Dans cette variante, on favorise la force à rupture du câble par rapport à sa résistance aux coupures.

**[0145]** Dans des variantes préférées de l'invention, les câbles à moyen module présentent les caractéristiques structurelles avantageuses suivantes.

**[0146]** Dans un mode de réalisation préféré, l'angle d'hélice  $\alpha$  de chaque toron interne dans la couche interne du câble va :

- de  $3^\circ$  à  $24^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à deux couches,
- de  $4^\circ$  à  $22^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à trois couches,
- de  $3^\circ$  à  $20^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à deux couches et des torons externes à trois couches,
- de  $4^\circ$  à  $23^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à trois couches et des torons externes à deux couches.

Dans la variante particulière, l'angle d'hélice  $\alpha$  de chaque toron interne dans la couche interne du câble va de  $5^\circ$  à  $19^\circ$ .

**[0147]** Dans un mode de réalisation préféré, l'angle d'hélice  $\alpha'$  de chaque toron externe dans

la couche externe du câble va :

- de  $11^\circ$  à  $20^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à deux couches,
- de  $11^\circ$  à  $21^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à trois couches,
- de  $10^\circ$  à  $22^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à deux couches et des torons externes à trois couches,
- de  $10^\circ$  à  $27^\circ$  dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à trois couches et des torons externes à deux couches.

10 Dans la variante particulière, l'angle d'hélice  $\alpha'$  de chaque toron externe dans la couche externe du câble va de  $11^\circ$  à  $20^\circ$ .

**[0148]** Dans la variante particulière utilisant des torons internes à deux couches,  $23^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 55^\circ$ .

15 **[0149]** Dans la variante particulière utilisant des torons internes à trois couches,  $50^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 80^\circ$ .

**[0150]** Dans la variante particulière utilisant des torons externes à deux couches,  $39^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 57^\circ$ .

**[0151]** Dans la variante particulière utilisant des torons externes à trois couches,  $65^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 95^\circ$ .

20 **[0152]** Dans le mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à deux couches,  $11^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 64^\circ$ , et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$ , on a avantageusement  $11^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 64^\circ$ , et
- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ , on a avantageusement  $16^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 63^\circ$ .

25

**[0153]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à trois couches,  $25^\circ \leq 3\alpha + \beta + \gamma + \delta \leq 97^\circ$ , et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$ , on a avantageusement  $25^\circ \leq 3\alpha + \beta + \gamma + \delta \leq 97^\circ$ , et

30

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ , on a avantageusement  $36^\circ \leq 3\alpha + \beta + \gamma + \delta \leq 97^\circ$

**[0154]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à deux couches et des torons externes à trois couches,  $16^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 68^\circ$ , et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$ , on a avantageusement  $16^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 56^\circ$ , et
- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ , on a avantageusement  $20^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 68^\circ$ .

5 **[0155]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à trois couches et des torons externes à deux couches,  $26^\circ \leq 3\alpha + \beta + \gamma + \delta \leq 97^\circ$ , et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$ , on a avantageusement  $26^\circ \leq 3\alpha + \beta + \gamma + \delta \leq 86^\circ$ , et
- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ , on a avantageusement  $36^\circ \leq 3\alpha + \beta + \gamma + \delta \leq 97^\circ$ .

10

**[0156]** Dans le mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à deux couches,  $23^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 58^\circ$ , et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q'=1$ , on a avantageusement  $23^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 52^\circ$ , et
- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q'>1$ , on a avantageusement  $27^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 58^\circ$ .

15

**[0157]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à trois couches,  $48^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \gamma' + \delta' \leq 89^\circ$ , et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q'=1$ , on a avantageusement  $48^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \gamma' + \delta' \leq 81^\circ$ , et
- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q'>1$ , on a avantageusement  $61^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \gamma' + \delta' \leq 89^\circ$ .

20

**[0158]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à deux couches et des torons externes à trois couches,  $47^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \gamma' + \delta' \leq 89^\circ$ , et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q'=1$ , on a avantageusement  $47^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \gamma' + \delta' \leq 86^\circ$ , et
- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q'>1$ , on a avantageusement  $62^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \gamma' + \delta' \leq 89^\circ$ .

25

**[0159]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à trois couches et des torons externes à deux couches,  $30^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 64^\circ$ , et

- dans un mode de réalisation dans lequel  $Q'=1$ , on a avantageusement  $30^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 62^\circ$ , et

- 5 ○ dans un mode de réalisation dans lequel  $Q'>1$ , on a avantageusement  $37^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 64^\circ$ .

**[0160]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à deux couches,  $45^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 108^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q'=1$ , on a avantageusement  $45^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 95^\circ$ . Dans un

- 10 mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ ,  $Q'=1$ , on a avantageusement  $55^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 95^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q'>1$ , on a avantageusement  $56^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 102^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ ,  $Q'>1$ , on a avantageusement  $60^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 108^\circ$ . Dans la variante particulière,  $73^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 102^\circ$ .

- 15 **[0161]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes et des torons externes à trois couches,  $84^\circ \leq 3\alpha + \beta + \gamma + \delta + 3\alpha' + \beta' + \gamma' + \delta' \leq 161^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q'=1$ , on a avantageusement  $84^\circ \leq 3\alpha + \beta + \gamma + \delta + 3\alpha' + \beta' + \gamma' + \delta' \leq 153^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ ,  $Q'=1$ , on a avantageusement  $94^\circ \leq 3\alpha + \beta + \gamma + \delta + 3\alpha' + \beta' + \gamma' + \delta' \leq 151^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q'>1$ , on a avantageusement  $88^\circ \leq 3\alpha + \beta + \gamma + \delta + 3\alpha' + \beta' + \gamma' + \delta' \leq 153^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ ,  $Q'>1$ , on a avantageusement  $101^\circ \leq 3\alpha + \beta + \gamma + \delta + 3\alpha' + \beta' + \gamma' + \delta' \leq 161^\circ$ . Dans la variante particulière,  $130^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 170^\circ$ .
- 20

- [0162]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à deux couches et des torons externes à trois couches,  $84^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \gamma' + \delta' \leq 136^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q'=1$ , on a avantageusement  $84^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \gamma' + \delta' \leq 112^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q>1$ ,  $Q'=1$ , on a avantageusement  $88^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \gamma' + \delta' \leq 124^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q'>1$ , on a avantageusement  $96^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \gamma' + \delta' \leq 122^\circ$ . Dans un mode de
- 25

réalisation dans lequel  $Q > 1$ ,  $Q' > 1$ , on a avantageusement  $99^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \gamma' + \delta' \leq 136^\circ$ . Dans la variante particulière,  $110^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 150^\circ$ .

**[0163]** Dans un mode de réalisation utilisant des torons internes à trois couches et des torons externes à deux couches,  $64^\circ \leq 3\alpha + \beta + \gamma + \delta + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 135^\circ$ . Dans un mode

de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q'=1$ , on a avantageusement  $64^\circ \leq 3\alpha + \beta + \gamma + \delta + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 117^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q > 1$ ,  $Q'=1$ , on a avantageusement  $73^\circ \leq 3\alpha + \beta + \gamma + \delta + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 131^\circ$ . Dans un mode de réalisation dans lequel  $Q=1$  et  $Q' > 1$ , on a avantageusement  $68^\circ \leq 3\alpha + \beta + \gamma + \delta + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 127^\circ$ . Dans un mode de

réalisation dans lequel  $Q > 1$ ,  $Q' > 1$ , on a avantageusement  $80^\circ \leq 3\alpha + \beta + \gamma + \delta + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 135^\circ$ . Dans la variante particulière,  $110^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 150^\circ$ .

**[0164]** Pour des diamètres de fils utilisés identiques ou proches, les angles ainsi définis permettent de définir structurellement la couche interne du câble et les torons internes de cette couche afin d'obtenir un câble conforme à l'invention facile à fabriquer industriellement en jouant uniquement sur les angles des fils des couches. De plus, les pas  $p_1$ ,  $p_1'$ ,  $p_2$ ,  $p_2'$  et  $p_3$ ,  $p_3'$  dans ces plages préférentielles permettent d'obtenir un câble présentant des propriétés mécaniques compatibles avec un usage pneumatique, un coût et une masse linéique du câble relativement faible.

**[0165]** Les valeurs des angles d'hélice  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\beta'$ ,  $\gamma'$ ,  $\delta'$ , ainsi que celles des pas  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ ,  $p_1'$ ,  $p_2'$ ,  $p_3'$  permettant d'obtenir des câbles à moyen module sont identiques à celles déjà décrites ci-dessus.

#### **[0166]** Architecture des câbles selon l'invention

**[0167]** Avantageusement,  $J=2, 3$  ou  $4$ , de préférence  $J=3$  ou  $4$ .

**[0168]** Dans un mode de réalisation,  $L$  est égal à  $7, 8, 9$  ou  $10$ , de préférence  $L=8, 9$  ou  $10$  et plus préférentiellement  $L=8$  ou  $9$ .

**[0169]** Dans une première variante,  $J=2$  et  $L=7$  ou  $8$ , de préférence  $J=2$ ,  $L=7$ .

**[0170]** Dans une deuxième variante,  $J=3$  et  $L=7, 8$  ou  $9$ , de préférence  $J=3$ ,  $L=8$  ou  $9$ . Dans le cas où  $L=8$ , on favorise la désaturation de la couche externe du câble et donc la pénétrabilité du câble entre les torons externes. Dans le cas où  $L=9$ , on maximise le nombre de torons externes et donc la force à rupture du câble.

**[0171]** Dans une troisième variante,  $J=4$  et  $L=7, 8, 9$  ou  $10$ , de préférence  $J=4$ ,  $L=9$ .

**[0172]** Dans ces modes de réalisation, notamment ceux où  $J=3$  ou  $4$ , il existe un risque de voir une très forte propagation des agents corrosifs entre les  $J=3$  ou  $4$  torons internes qui

délimitent un capillaire central très favorable à leur propagation le long du câble, lorsque le câble est insuffisamment pénétré. Cet inconvénient peut être surmonté en rendant le câble pénétrable par la composition d'élastomère qui empêche alors les agents corrosifs d'accéder au capillaire central, et dans le meilleur des cas où le capillaire central est lui-même pénétré, la propagation de ces agents corrosifs le long du câble.

**[0173]** Avantageusement, la couche externe du câble est désaturée.

**[0174]** Par définition, une couche de torons désaturée est telle qu'il existe suffisamment d'espace entre les torons de façon à permettre le passage d'une composition d'élastomère. Une couche externe de torons est désaturée signifie que les torons externes ne se touchent pas et qu'il y a suffisamment d'espace entre deux torons externes adjacents permettant le passage d'une composition d'élastomère jusqu'aux torons internes. Par opposition, une couche de torons saturée est telle qu'il n'existe suffisamment pas d'espace entre les torons de la couche de façon à permettre le passage d'une composition d'élastomère, par exemple car les torons de la couche se touchent deux à deux.

**[0175]** Avantageusement, la distance inter-torons de la couche externe de torons externes définie, sur une section du câble perpendiculaire à l'axe principal du câble, comme la distance la plus courte qui sépare, en moyenne, les enveloppes circulaires dans lesquelles sont inscrits deux torons externes adjacents, est, pour une couche de torons désaturée, supérieure ou égale à 30  $\mu\text{m}$ . De préférence, la distance inter-torons moyenne séparant deux torons externes adjacents est supérieure ou égale à 70  $\mu\text{m}$ , plus préférentiellement à 100  $\mu\text{m}$ , encore plus préférentiellement à 150  $\mu\text{m}$  et très préférentiellement à 200  $\mu\text{m}$ .

**[0176]** Comme déjà expliqué ci-dessus, les câbles selon l'invention présentant une architecture dans laquelle  $J > 1$ , les efforts transversaux les plus sévères qui s'exercent dans le câble lorsque celui-ci est mis en tension sont les efforts transversaux s'exerçant entre les torons internes au contraire d'un câble dans lequel  $J = 1$  et dans lequel les efforts transversaux les plus sévères sont les efforts transversaux exercés par les torons externes sur les torons internes. Dans l'état de la technique, on connaît des câbles présentant une architecture dans laquelle  $J > 1$  et comprenant un nombre de torons externes tels que la couche externe du câble soit saturée de façon à maximiser la force à rupture en ajoutant un nombre maximal de torons externes. Ici, grâce à la désaturation de la couche externe du câble, le câble présente, d'une part, des espaces entre les torons externes permettant le passage de la composition d'élastomère et donc de rendre le câble moins sensible à la corrosion. D'autre part, bien que l'on réduise le nombre de torons externes, la désaturation de la couche externe du câble permet à la composition d'élastomère de pénétrer d'une part, entre les torons externes et, d'autre part, entre les torons internes de façon à former un coussin de composition d'élastomère absorbant au moins partiellement les efforts transversaux s'exerçant entre les torons internes. Ainsi, par rapport un câble analogue

présentant une couche externe du câble saturée, on obtient une force à rupture équivalente et une résistance à la corrosion largement améliorée.

**[0177]** Dans un mode de réalisation favorisant la pénétrabilité du câble, la couche externe du câble est complètement insaturée.

5 **[0178]** Par définition, une couche complètement insaturée de torons est, par opposition à une couche incomplètement insaturée, telle qu'il existe suffisamment de place dans cette couche pour y ajouter au moins un  $(X+1)$ ième toron du même diamètre que les X torons de la couche, plusieurs torons pouvant alors être ou non au contact les uns des autres. En l'espèce, il existe suffisamment de place dans la couche externe du câble pour y ajouter au  
10 moins un  $(L+1)$ ième toron du même diamètre que les L torons externes de la couche externe du câble.

**[0179]** Ainsi, avantageusement, la somme SIE des distances intertorons E de la couche externe du câble est telle que  $SIE \geq DE$ . La somme SIE est la somme des distances intertorons E séparant chaque couple de torons adjacents de la couche. La distance  
15 intertorons d'une couche est définie, sur une section du câble perpendiculaire à l'axe principal du câble, comme la distance la plus courte qui sépare, en moyenne, deux torons adjacents de la couche. Ainsi, la distance intertorons E est calculée en divisant la somme SIE par le nombre d'espaces séparant les torons de la couche.

**[0180]** Dans un autre mode de réalisation favorisant le compromis entre pénétrabilité et  
20 force à rupture, la couche externe du câble est incomplètement insaturée.

**[0181]** Une couche incomplètement insaturée de torons est telle qu'il n'existe pas suffisamment de place dans cette couche pour y ajouter au moins un  $(X+1)$ ième toron du même diamètre que les X torons de la couche. En l'espèce, il n'existe pas suffisamment de place dans la couche externe pour y ajouter au moins un  $(L+1)$ ième toron externe du même  
25 diamètre que les L torons externes de la couche externe du câble.

**[0182]** Par définition, le diamètre de la couche interne DI est le diamètre du cercle le plus petit dans lequel sont circonscrits les torons internes. Le diamètre d'un toron externe DE est le diamètre du cercle le plus petit dans lequel est circonscrit le toron externe. Pour des valeurs relativement élevées de DI/DE, on favorise davantage le passage de la composition d'élastomère entre les torons externes, et, pour des valeurs relativement basses de DI/DE,  
30 on assure la stabilité architecturale du câble, on maximise la force à rupture tout en permettant le passage de la composition d'élastomère entre les torons externes, on limite le diamètre externe du câble, on réduit l'épaisseur de la nappe, donc l'échauffement, la résistance au roulement et la masse du pneumatique.

35

**[0183]** Torons internes des câbles selon l'invention

**[0184]** Torons internes à deux couches

**[0185]** Dans un mode de réalisation favorisant le compromis entre diamètre du câble et force à rupture, chaque toron interne est à deux couches et comprend :

- une couche interne constituée de  $Q \geq 1$  fils internes, et
- une couche externe constituée de  $N > 1$  fils externes enroulés autour de la couche interne.

**[0186]** Chaque toron interne est à deux couches, c'est-à-dire qu'il comprend un assemblage constitué de deux couches de fils, ni plus ni moins, c'est-à-dire que l'assemblage a deux couches de fils, pas une, pas trois, mais uniquement deux. La couche externe de chaque toron est enroulée autour de la couche interne de ce toron au contact de la couche interne de ce toron.

**[0187]** Dans un mode de réalisation, D1 et D2 vont chacun de 0,15 mm à 0,60 mm, de préférence de 0,20 mm à 0,50 mm, plus préférentiellement de 0,23 mm à 0,45 mm et encore plus préférentiellement de 0,25 mm à 0,40 mm.

**[0188]** Dans des modes de réalisation préférés,  $Q=1, 2, 3$  ou 4.

**[0189]** Dans un mode de réalisation,  $Q=1$ ,  $N=5$  ou 6, de préférence  $Q=1$ ,  $N=6$ .

**[0190]** Dans des modes de réalisation préférés permettant d'augmenter la force à rupture du câble par rapport au mode de réalisation dans lequel  $Q=1$ ,  $Q=2, 3$  ou 4, de préférence  $Q=3$  ou 4.

**[0191]** Dans ces modes de réalisation préférés dans lesquels  $Q > 1$ , notamment ceux où  $Q=3$  ou 4, il existe un risque, lorsque le toron est insuffisamment pénétré, de voir une très forte propagation des agents corrosifs entre les  $Q=3$  ou 4 fils internes qui délimitent un capillaire central très favorable à leur propagation le long de chaque toron. Cet inconvénient peut être surmonté en rendant le toron pénétrable par la composition d'élastomère qui empêche alors les agents corrosifs d'accéder au capillaire central, et dans le meilleur des cas où le capillaire central est lui-même pénétré, la propagation de ces agents corrosifs le long du toron.

**[0192]** Dans des modes de réalisation préféré dans lesquels  $Q > 1$ ,  $N=7, 8, 9$  ou 10, de préférence  $N=8, 9$  ou 10 et plus préférentiellement  $N=8$  ou 9.

**[0193]** Dans une première variante,  $Q=2$  et  $N=7$  ou 8, de préférence  $Q=2$ ,  $N=7$ .

**[0194]** Dans une deuxième variante,  $Q=3$  et  $N=7, 8$  ou 9, de préférence  $Q=3$ ,  $N=8$ .

**[0195]** Dans une troisième variante,  $Q=4$  et  $N=7, 8, 9$  ou 10, de préférence  $Q=4$ ,  $N=9$ .

**[0196]** De façon avantageuse, la couche externe de chaque toron interne est désaturée, de préférence complètement insaturée.

**[0197]** Par définition, une couche de fils désaturée est telle qu'il existe suffisamment d'espace entre les fils de façon à permettre le passage d'une composition d'élastomère. Ainsi, une couche désaturée signifie que les fils de cette couche ne se touchent pas et qu'il y a suffisamment d'espace entre deux fils adjacents de la couche permettant le passage d'une

composition d'élastomère au travers de la couche. Par opposition, une couche de fils saturée est telle qu'il n'existe suffisamment pas d'espace entre les fils de la couche de façon à permettre le passage d'une composition d'élastomère, par exemple car les fils de la couche se touchent deux à deux.

5 **[0198]** Avantageusement, la distance interfils de la couche externe de chaque toron interne est supérieure ou égale à 5  $\mu\text{m}$ . De préférence, la distance interfils de la couche externe de chaque toron interne est supérieure ou égale à 15  $\mu\text{m}$ , plus préférentiellement supérieure ou égale à 35  $\mu\text{m}$ , encore plus préférentiellement supérieure ou égale à 50  $\mu\text{m}$  et très préférentiellement supérieure ou égale à 60  $\mu\text{m}$ .

10 **[0199]** La désaturation de la couche externe du toron interne permet avantageusement de faciliter le passage de la composition d'élastomère jusqu'au centre du toron interne et donc de rendre le toron interne moins sensible à la corrosion.

**[0200]** Par définition, une couche complètement insaturée de fils est telle qu'il existe suffisamment de place dans cette couche pour y ajouter au moins un  $(X+1)$ ième fil du même  
15 diamètre que les X fils de la couche, plusieurs fils pouvant alors être ou non au contact les uns des autres. En l'espèce, il existe suffisamment de place dans la couche externe de chaque toron interne pour y ajouter au moins un  $(N+1)$ ième fil externe du même diamètre que les N fils externe de la couche externe.

**[0201]** L'insaturation complète de la couche externe de chaque toron interne permet de  
20 maximiser la pénétration de la composition d'élastomère dans chaque toron interne et donc de rendre chaque toron interne encore moins sensible à la corrosion.

**[0202]** Ainsi, avantageusement, la somme  $SI2$  des distances interfils de la couche externe de chaque toron interne est telle que  $SI2 \geq D2$ . La somme  $SI2$  est la somme des distances interfils séparant chaque couple de fils adjacents de la couche. La distance interfils d'une  
25 couche est définie, sur une section du câble perpendiculaire à l'axe principal du câble, comme la distance la plus courte qui sépare, en moyenne, deux fils adjacents de la couche. Ainsi, la distance interfils est calculée en divisant la somme  $SI2$  par le nombre d'espaces séparant les fils de la couche.

**[0203]** Par opposition, une couche incomplètement insaturée fils serait telle qu'il n'existerait pas suffisamment de place dans cette couche pour y ajouter au moins un  $(X+1)$ ième fil du  
30 même diamètre que les X' fils de la couche. En l'espèce, il n'existerait pas suffisamment de place dans la couche externe pour y ajouter au moins un  $(N+1)$ ième fil externe du même diamètre que les N fils externe de la couche externe.

**[0204]** Dans des modes de réalisation préférés, chaque fil interne de chaque toron interne  
35 présente un diamètre  $D1$  supérieur ou égal au diamètre  $D2$  de chaque fil externe de chaque toron interne. L'utilisation de diamètres tels que  $D1 > D2$  permet de favoriser la pénétrabilité de la composition d'élastomère au travers de la couche intermédiaire. L'utilisation de

diamètres tels que  $D1=D2$  permet de limiter le nombre de fils différents à gérer lors de la fabrication du câble.

**[0205]** Avantageusement, chaque toron interne est du type non gommé in situ. Par non gommé in situ, on entend qu'avant assemblage de la couche interne du câble et avant assemblage du câble, chaque toron interne est constitué des fils des différentes couches et dépourvu de composition de polymère, notamment de composition d'élastomère.

**[0206]** Avantageusement, la couche interne du câble est enroulée dans un sens de couche interne du câble et chaque couche interne (lorsque  $Q>1$ ) et externe de chaque toron interne est enroulée dans le même sens d'enroulement que le sens de couche interne du câble.

**[0207]** Torons internes à trois couches

**[0208]** Dans un autre mode de réalisation particulièrement avantageux améliorant la force à rupture du câble, chaque toron interne est à trois couches et comprend :

- une couche interne constituée de  $Q \geq 1$  fils internes,
- une couche intermédiaire constituée de  $P > 1$  fils intermédiaires enroulés autour de la couche interne, et
- une couche externe constituée de  $N > 1$  fils externes enroulés autour de la couche intermédiaire.

**[0209]** Chaque toron interne est à trois couches, c'est-à-dire qu'il comprend un assemblage constitué de trois couches de fils, ni plus ni moins, c'est-à-dire que l'assemblage a trois couches de fils, pas deux, pas quatre mais uniquement trois. La couche externe de chaque toron est enroulée en hélice autour de la couche intermédiaire de ce toron au contact de la couche intermédiaire de ce toron. La couche intermédiaire de chaque toron est enroulée en hélice autour de la couche interne de ce toron au contact de la couche interne de ce toron.

**[0210]** Dans un mode de réalisation,  $D1$ ,  $D2$  et  $D3$  vont chacun de 0,15 mm à 0,60 mm, de préférence de 0,20 mm à 0,50 mm, plus préférentiellement de 0,23 mm à 0,45 mm et encore plus préférentiellement de 0,25 mm à 0,40 mm.

**[0211]** Dans des modes de réalisation préférés,  $Q=1, 2, 3$  ou  $4$ .

**[0212]** Dans un mode de réalisation,  $Q=1$ ,  $P=5$  ou  $6$  et  $N=10, 11$  ou  $12$ , de préférence  $Q=1$ ,  $P=5$  ou  $6$  et  $N=10$  ou  $11$  et plus préférentiellement  $Q=1$ ,  $P=6$  et  $N=11$ .

**[0213]** Dans des modes de réalisation préférés permettant d'augmenter la force à rupture du câble par rapport au mode de réalisation dans lequel  $Q=1$ ,  $Q=2, 3$  ou  $4$ , de préférence  $Q=3$  ou  $4$ .

**[0214]** Dans ces modes de réalisation préférés dans lesquels  $Q>1$ , notamment ceux où  $Q=3$  ou  $4$ , il existe un risque, lorsque le toron est insuffisamment pénétré, de voir une très forte propagation des agents corrosifs entre les  $Q=3$  ou  $4$  fils internes qui délimitent un capillaire central très favorable à leur propagation le long de chaque toron. Cet inconvénient peut être

surmonté en rendant le toron pénétrable par la composition d'élastomère qui empêche alors les agents corrosifs d'accéder au capillaire central, et dans le meilleur des cas où le capillaire central est lui-même pénétré, la propagation de ces agents corrosifs le long du toron.

- 5 **[0215]** Dans des modes de réalisation préférés dans lesquels  $Q > 1$ ,  $Q = 2, 3$  ou  $4$ ,  $P = 7, 8, 9$  ou  $10$ ,  $N = 13, 14$  ou  $15$ , de préférence  $Q = 3$  ou  $4$ ,  $P = 8, 9$  ou  $10$ ,  $N = 14$  ou  $15$ , plus préférentiellement  $Q = 3$ ,  $P = 8$  ou  $9$  et  $N = 14$  ou  $15$  et encore plus préférentiellement  $Q = 3$ ,  $P = 9$  et  $N = 15$ .

- 10 **[0216]** De façon avantageuse, la couche intermédiaire de chaque toron interne est désaturée.

- [0217]** Par définition, une couche de fils désaturée est telle qu'il existe suffisamment d'espace entre les fils de façon à permettre le passage d'une composition d'élastomère. Ainsi, une couche désaturée signifie que les fils de cette couche ne se touchent pas et qu'il y a suffisamment d'espace entre deux fils adjacents de la couche permettant le passage d'une  
15 composition d'élastomère au travers de la couche. Par opposition, une couche de fils saturée est telle qu'il n'existe suffisamment pas d'espace entre les fils de la couche de façon à permettre le passage d'une composition d'élastomère, par exemple car les fils de la couche se touchent deux à deux.

- [0218]** Avantageusement, la distance interfils de la couche intermédiaire de chaque toron  
20 interne est supérieure ou égale à  $5 \mu\text{m}$ . De préférence, la distance interfils de la couche intermédiaire de chaque toron interne est supérieure ou égale à  $15 \mu\text{m}$ , plus préférentiellement supérieure ou égale à  $35 \mu\text{m}$ , encore plus préférentiellement supérieure ou égale à  $50 \mu\text{m}$  et très préférentiellement supérieure ou égale à  $60 \mu\text{m}$ .

- [0219]** La désaturation de la couche intermédiaire du toron interne permet avantageusement  
25 de faciliter le passage de la composition d'élastomère jusqu'au centre de chaque toron interne et donc de rendre chaque toron interne moins sensible à la corrosion.

**[0220]** Dans un mode de réalisation favorisant le compromis entre pénétrabilité de chaque toron interne et force à rupture, la couche intermédiaire de chaque toron interne est incomplètement insaturée.

- 30 **[0221]** Par définition, une couche incomplètement insaturée fils est telle qu'il n'existe pas suffisamment de place dans cette couche pour y ajouter au moins un  $(X+1)$ ième fil du même diamètre que les  $X$  fils de la couche. En l'espèce, il n'existe pas suffisamment de place dans la couche intermédiaire pour y ajouter au moins un  $(P+1)$ ième fil intermédiaire du même diamètre que les  $P$  fils intermédiaires de la couche intermédiaire.

- 35 **[0222]** L'insaturation incomplète de la couche intermédiaire du toron interne permet d'assurer une stabilité architecturale de la couche intermédiaire. En outre, l'insaturation incomplète de la couche intermédiaire du toron interne permet de s'assurer que le toron

interne comprend un nombre relativement élevé de fils intermédiaires et donc présente une force à rupture relativement élevée.

**[0223]** Ainsi, avantageusement, la somme  $SI_2$  des distances interfils de la couche intermédiaire est telle que  $SI_2 < D_3$  avec  $D_3$  étant le diamètre de chaque fil externe du toron interne, de préférence  $SI_2 \leq 0,8 \times D_3$ . La somme  $SI_2$  est la somme des distances interfils séparant chaque couple de fils adjacents de la couche intermédiaire. La distance interfils d'une couche est définie, sur une section du câble perpendiculaire à l'axe principal du câble, comme la distance la plus courte qui sépare, en moyenne, deux fils adjacents de la couche. Ainsi, la distance interfils est calculée en divisant la somme  $SI_2$  par le nombre d'espaces séparant les fils de la couche intermédiaire. Le diamètre  $D_3$  des fils externes de la couche externe du toron interne étant préférentiellement supérieur à la somme  $SI_2$ , on empêche les fils externes de pénétrer dans la couche intermédiaire. On assure ainsi une bonne stabilité architecturale, ce qui réduit de plus le risque de modification des fenêtres de passage radial de la composition d'élastomère et donc le risque de dégrader de la bonne pénétrabilité du toron interne.

**[0224]** Dans un autre mode de réalisation favorisant la pénétrabilité de chaque toron interne, la couche intermédiaire de chaque toron interne est complètement insaturée.

**[0225]** Par définition, une couche complètement insaturée de fils est telle qu'il existe suffisamment de place dans cette couche pour y ajouter au moins un  $(X+1)$ ème fil du même diamètre que les  $X$  fils de la couche, plusieurs fils pouvant alors être ou non au contact les uns des autres. En l'espèce, il existe suffisamment de place dans la couche intermédiaire de chaque toron interne pour y ajouter au moins un  $(P+1)$ ème fil intermédiaire du même diamètre que les  $P$  fils intermédiaires de la couche intermédiaire.

**[0226]** Un tel mode de réalisation est particulièrement avantageux dans le cas où  $Q=3$  et  $P=8$  ou  $Q=4$  et  $P=9$  et dans le cas où  $D_1=D_2$ . En effet, si on avait  $Q=3$  et  $P=9$  ou  $Q=4$  et  $P=10$ , la couche intermédiaire, même en étant désaturée, pourrait, dans certains cas, présenter une distance interfils insuffisante pour une pénétrabilité satisfaisante du toron. De façon avantageuse, la couche externe de chaque toron interne est désaturée, de préférence complètement insaturée.

**[0227]** Comme déjà précisé, par définition, une couche de fils désaturée de fils est telle qu'il existe suffisamment d'espace entre les fils de façon à permettre le passage d'une composition d'élastomère. Ainsi, une couche désaturée signifie que les fils de cette couche ne se touchent pas et qu'il y a suffisamment d'espace entre deux fils adjacents de la couche permettant le passage d'une composition d'élastomère au travers de la couche. Par opposition, une couche de fils saturée est telle qu'il n'existe suffisamment pas d'espace entre les fils de la couche de façon à permettre le passage d'une composition d'élastomère, par exemple car les fils de la couche se touchent deux à deux.

**[0228]** Avantageusement, la distance interfils de la couche externe de chaque toron interne est supérieure ou égale à 5  $\mu\text{m}$ . De préférence, la distance interfils de la couche externe de chaque toron interne est supérieure ou égale à 15  $\mu\text{m}$ , plus préférentiellement supérieure ou égale à 35  $\mu\text{m}$ , encore plus préférentiellement supérieure ou égale à 50  $\mu\text{m}$  et très  
5 préférentiellement supérieure ou égale à 60  $\mu\text{m}$ .

**[0229]** La désaturation de la couche externe de chaque toron interne permet avantageusement de faciliter le passage de la composition d'élastomère jusqu'au centre de chaque toron interne et donc de rendre chaque toron interne moins sensible à la corrosion.

**[0230]** Par définition, une couche complètement insaturée de fils est telle qu'il existe  
10 suffisamment de place dans cette couche pour y ajouter au moins un (X+1)ième fil du même diamètre que les X fils de la couche, plusieurs fils pouvant alors être ou non au contact les uns des autres. En l'espèce, il existe suffisamment de place dans la couche externe de chaque toron interne pour y ajouter au moins un (N+1)ième fil externe du même diamètre que les N fils externes de la couche externe.

**[0231]** L'insaturation complète de la couche externe de chaque toron interne permet de  
15 maximiser la pénétration de la composition d'élastomère dans chaque toron interne et donc de rendre chaque toron interne encore moins sensible à la corrosion.

**[0232]** Ainsi, avantageusement, la somme SI3 des distances interfils de la couche externe de chaque toron interne est telle que  $SI3 \geq D3$ . La somme SI3 est la somme des distances  
20 interfils séparant chaque couple de fils adjacents de la couche externe. La distance interfils d'une couche est définie, sur une section du câble perpendiculaire à l'axe principal du câble, comme la distance la plus courte qui sépare, en moyenne, deux fils adjacents de la couche. Ainsi, la distance interfils est calculée en divisant la somme SI3 par le nombre d'espaces séparant les fils de la couche externe.

**[0233]** Dans des modes de réalisation préférés, chaque fil interne de chaque toron interne présente un diamètre D1 supérieur ou égal au diamètre D2 de chaque fil intermédiaire de  
25 chaque toron interne. L'utilisation de diamètres tels que  $D1 > D2$  permet de favoriser la pénétrabilité de la composition d'élastomère au travers de la couche intermédiaire. L'utilisation de diamètres tels que  $D1 = D2$  permet de limiter le nombre de fils différents à  
30 gérer lors de la fabrication du câble.

**[0234]** Dans des modes de réalisation préférés, chaque fil interne de chaque toron interne présente un diamètre D1 supérieur ou égal au diamètre D3 de chaque fil externe de chaque  
35 toron interne. L'utilisation de diamètres tels que  $D1 > D3$  permet de favoriser la pénétrabilité de la composition d'élastomère au travers de la couche externe. L'utilisation de diamètres  
tels que  $D1 = D3$  permet de limiter le nombre de fils différents à gérer lors de la fabrication du câble.

**[0235]** Dans des modes de réalisation préférés, chaque fil intermédiaire de chaque toron

interne présente un diamètre D2 égal au diamètre D3 de chaque fil externe de chaque toron interne. L'utilisation de diamètres tels que  $D2=D3$  permet de limiter le nombre de fils différents à gérer lors de la fabrication du câble.

**[0236]** Avantageusement, chaque toron interne est du type non gommé in situ. Par non gommé in situ, on entend qu'avant assemblage de la couche interne du câble et avant assemblage du câble, chaque toron interne est constitué des fils des différentes couches et dépourvu de composition de polymère, notamment de composition d'élastomère.

**[0237]** Avantageusement, la couche interne du câble est enroulée dans un sens de couche interne du câble et chaque couche interne (lorsque  $Q>1$ ), intermédiaire et externe de chaque toron interne est enroulée dans le même sens d'enroulement que le sens de couche interne du câble.

**[0238]** Torons externes des câbles selon l'invention

**[0239]** Torons externes à deux couches

**[0240]** Dans un mode de réalisation favorisant le compromis entre diamètre du câble et force à rupture, chaque toron externe est à deux couches et comprend :

- une couche interne constituée de  $Q' \geq 1$  fils internes,
- une couche externe constituée de  $N' > 1$  fils externes enroulés autour de la couche interne.

**[0241]** Chaque toron externe est à deux couches, c'est-à-dire qu'il comprend un assemblage constitué de deux couches de fils, ni plus ni moins, c'est-à-dire que l'assemblage a deux couches de fils, pas une, pas trois, mais uniquement deux. La couche externe de chaque toron est enroulée autour de la couche interne de ce toron au contact de la couche interne de ce toron.

**[0242]** Dans un mode de réalisation, D1' et D2' vont chacun de 0,15 mm à 0,60 mm, de préférence de 0,20 mm à 0,50 mm, plus préférentiellement de 0,23 mm à 0,45 mm et encore plus préférentiellement de 0,25 mm à 0,40 mm.

**[0243]** Dans un mode de réalisation,  $Q'=1$ , Dans ce mode de réalisation,  $N'=5$  ou 6, de préférence  $N=6$ .

**[0244]** Dans des modes de réalisation préférés permettant d'augmenter la force à rupture du câble par rapport au mode de réalisation dans lequel  $Q'=1$ ,  $Q'=2$ , 3 ou 4, de préférence  $Q'=3$  ou 4.

**[0245]** Dans ces modes de réalisation préférés dans lesquels  $Q'>1$ , notamment ceux où  $Q'=3$  ou 4, il existe un risque, lorsque le toron est insuffisamment pénétré, de voir une très forte propagation des agents corrosifs entre les  $Q'=3$  ou 4 fils internes qui délimitent un capillaire central très favorable à leur propagation le long de chaque toron. Cet inconvénient peut être surmonté en rendant le toron pénétrable par la composition d'élastomère qui

empêche alors les agents corrosifs d'accéder au capillaire central, et dans le meilleur des cas où le capillaire central est lui-même pénétré, la propagation de ces agents corrosifs le long du toron.

**[0246]** Dans des modes de réalisation préférés du mode dans lequel  $Q' > 1$ ,  $N' = 7, 8, 9$  ou  $10$ , de préférence  $N' = 8, 9$  ou  $10$  et plus préférentiellement  $N' = 8$  ou  $9$ .

**[0247]** Dans une première variante,  $Q' = 2$  et  $N' = 7$  ou  $8$ , de préférence  $Q' = 2$ ,  $N' = 7$ .

**[0248]** Dans une deuxième variante,  $Q' = 3$  et  $N' = 7, 8$  ou  $9$ , de préférence  $Q' = 3$ ,  $N' = 8$ .

**[0249]** Dans une troisième variante,  $Q' = 4$  et  $N' = 7, 8, 9$  ou  $10$ , de préférence  $Q' = 4$ ,  $N' = 9$ .

**[0250]** De façon avantageuse, la couche externe de chaque toron externe est désaturée, de préférence complètement insaturée.

**[0251]** Comme déjà précisé, par définition, une couche de fils désaturée de fils est telle qu'il existe suffisamment d'espace entre les fils de façon à permettre le passage d'une composition d'élastomère. Ainsi, une couche désaturée signifie que les fils de cette couche ne se touchent pas et qu'il y a suffisamment d'espace entre deux fils adjacents de la couche permettant le passage d'une composition d'élastomère au travers de la couche. Par opposition, une couche de fils saturée est telle qu'il n'existe suffisamment pas d'espace entre les fils de la couche de façon à permettre le passage d'une composition d'élastomère, par exemple car les fils de la couche se touchent deux à deux.

**[0252]** Avantageusement, la distance interfils de la couche externe de chaque toron externe est supérieure ou égale à  $5 \mu\text{m}$ . De préférence, la distance interfils de la couche externe de chaque toron externe est supérieure ou égale à  $15 \mu\text{m}$ , plus préférentiellement supérieure ou égale à  $35 \mu\text{m}$ , encore plus préférentiellement supérieure ou égale à  $50 \mu\text{m}$  et très préférentiellement supérieure ou égale à  $60 \mu\text{m}$ .

**[0253]** La désaturation de la couche externe de chaque toron externe permet avantageusement de faciliter le passage de la composition d'élastomère jusqu'au centre de chaque toron externe et donc de rendre chaque toron externe moins sensible à la corrosion.

**[0254]** Par définition, une couche complètement insaturée de fils est telle qu'il existe suffisamment de place dans cette couche pour y ajouter au moins un  $(X'+1)$ ième fil du même diamètre que les  $X'$  fils de la couche, plusieurs fils pouvant alors être ou non au contact les uns des autres. En l'espèce, il existe suffisamment de place dans la couche externe de chaque toron externe pour y ajouter au moins un  $(N'+1)$ ième fil externe du même diamètre que les  $N'$  fils externe de la couche externe.

**[0255]** L'insaturation complète de la couche externe de chaque toron externe permet de maximiser la pénétration de la composition d'élastomère dans chaque toron externe et donc de rendre chaque toron externe encore moins sensible à la corrosion.

**[0256]** Ainsi, avantageusement, la somme  $SI2'$  des distances interfils de la couche externe de chaque toron interne est telle que  $SI2' \geq D2'$ . La somme  $SI2'$  est la somme des distances

interfils séparant chaque couple de fils adjacents de la couche. La distance interfils d'une couche est définie, sur une section du câble perpendiculaire à l'axe principal du câble, comme la distance la plus courte qui sépare, en moyenne, deux fils adjacents de la couche. Ainsi, la distance interfils est calculée en divisant la somme  $Sl_2'$  par le nombre d'espaces

5 séparant les fils de la couche.

**[0257]** Par opposition, une couche incomplètement insaturée serait telle qu'il n'existerait pas suffisamment de place dans cette couche pour y ajouter au moins un  $(X'+1)$ ième fil du même diamètre que les  $X'$  fils de la couche. En l'espèce, il n'existerait pas suffisamment de place dans la couche externe pour y ajouter au moins un  $(N'+1)$ ième fil externe du même diamètre

10 que les  $N$  fils externe de la couche externe.

**[0258]** Dans des modes de réalisation préférés, chaque fil interne de chaque toron externe présente un diamètre  $D1'$  supérieur ou égal au diamètre  $D2'$  de chaque fil externe de chaque toron externe. L'utilisation de diamètres tels que  $D1' > D2'$  permet de favoriser la pénétrabilité de la composition d'élastomère au travers de la couche externe. L'utilisation de diamètres

15 tels que  $D1' = D2'$  permet de limiter le nombre de fils différents à gérer lors de la fabrication du câble.

**[0259]** Avantageusement, chaque toron externe est du type non gommé in situ. Par non gommé in situ, on entend qu'avant assemblage de la couche externe du câble et avant assemblage du câble, chaque toron externe est constitué des fils des différentes couches et

20 dépourvu de composition de polymère, notamment de composition d'élastomère.

**[0260]** Avantageusement, la couche externe est enroulée dans un sens de couche externe du câble et chaque couche interne (lorsque  $Q' > 1$ ) et externe de chaque toron externe est enroulée dans le même sens d'enroulement que le sens de couche externe du câble.

25 **[0261]** Torons externes à trois couches

**[0262]** Dans un autre mode de réalisation particulièrement avantageux améliorant la force à rupture du câble, chaque toron externe est à trois couches et comprend :

- une couche interne constituée de  $Q' \geq 1$  fils internes,
- une couche intermédiaire constituée de  $P' > 1$  fils intermédiaires enroulés
- 30 autour de la couche interne, et
- une couche externe constituée de  $N' > 1$  fils externes enroulés autour de la couche intermédiaire.

**[0263]** Chaque toron externe est à trois couches, c'est-à-dire qu'il comprend un assemblage constitué de trois couches de fils, ni plus ni moins, c'est-à-dire que l'assemblage a trois

35 couches de fils, pas deux, pas quatre mais uniquement trois. La couche externe de chaque toron est enroulée en hélice autour de la couche intermédiaire de ce toron au contact de la couche intermédiaire de ce toron. La couche intermédiaire de chaque toron est enroulée en

hélice autour de la couche interne de ce toron au contact de la couche interne de ce toron.

**[0264]** Dans un mode de réalisation,  $D1'$ ,  $D2'$  et  $D3'$  vont chacun de 0,15 mm à 0,60 mm, de préférence de 0,20 mm à 0,50 mm, plus préférentiellement de 0,23 mm à 0,45 mm et encore plus préférentiellement de 0,25 mm à 0,40 mm.

5 **[0265]** Dans des modes de réalisation préférés,  $Q'=1, 2, 3$  ou 4.

**[0266]** Dans un mode de réalisation,  $Q'=1$ ,  $P'=5$  ou 6 et  $N'=10, 11$  ou 12, de préférence  $Q'=1$ ,  $P'=5$  ou 6 et  $N'=10$  ou 11 et plus préférentiellement  $Q'=1$ ,  $P'=6$  et  $N'=11$ .

**[0267]** Dans des modes de réalisation préférés permettant d'augmenter la force à rupture du câble par rapport au mode de réalisation dans lequel  $Q'=1$ ,  $Q'=2, 3$  ou 4, de préférence  $Q'=3$   
10 ou 4.

**[0268]** Dans ces modes de réalisation préférés dans lesquels  $Q'>1$ , notamment ceux où  $Q'=3$  ou 4, il existe un risque, lorsque le toron est insuffisamment pénétré, de voir une très forte propagation des agents corrosifs entre les  $Q'=3$  ou 4 fils internes qui délimitent un capillaire central très favorable à leur propagation le long de chaque toron. Cet inconvénient  
15 peut être surmonté en rendant le toron pénétrable par la composition d'élastomère qui empêche alors les agents corrosifs d'accéder au capillaire central, et dans le meilleur des cas où le capillaire central est lui-même pénétré, la propagation de ces agents corrosifs le long du toron.

**[0269]** Dans des modes de réalisation préférés dans lesquels  $Q'>1$ ,  $Q'=2, 3$  ou 4,  $P'=7, 8, 9$   
20 ou 10,  $N'=13, 14$  ou 15, de préférence  $Q'=3$  ou 4,  $P'=8, 9$  ou 10,  $N'=14$  ou 15, plus préférentiellement  $Q'=3$ ,  $P'=8$  ou 9 et  $N'=14$  ou 15 et encore plus préférentiellement  $Q'=3$ ,  $P'=9$  et  $N'=15$ .

**[0270]** De façon avantageuse, la couche intermédiaire de chaque toron externe est désaturée.

25 **[0271]** Comme déjà précisé, par définition, une couche de fils désaturée de fils est telle qu'il existe suffisamment d'espace entre les fils de façon à permettre le passage d'une composition d'élastomère. Ainsi, une couche désaturée signifie que les fils de cette couche ne se touchent pas et qu'il y a suffisamment d'espace entre deux fils adjacents de la couche permettant le passage d'une composition d'élastomère au travers de la couche. Par  
30 opposition, une couche de fils saturée est telle qu'il n'existe suffisamment pas d'espace entre les fils de la couche de façon à permettre le passage d'une composition d'élastomère, par exemple car les fils de la couche se touchent deux à deux.

**[0272]** Avantageusement, la distance interfils de la couche intermédiaire de chaque toron externe est supérieure ou égale à 5  $\mu\text{m}$ . De préférence, la distance interfils de la couche  
35 intermédiaire de chaque toron externe est supérieure ou égale à 15  $\mu\text{m}$ , plus préférentiellement supérieure ou égale à 35  $\mu\text{m}$ , encore plus préférentiellement supérieure ou égale à 50  $\mu\text{m}$  et très préférentiellement supérieure ou égale à 60  $\mu\text{m}$ .

[0273] La désaturation de la couche intermédiaire de chaque toron externe permet avantageusement de faciliter le passage de la composition d'élastomère jusqu'au centre de chaque toron externe et donc de rendre le toron externe moins sensible à la corrosion.

[0274] Dans un mode de réalisation favorisant le compromis entre pénétrabilité de chaque toron externe et force à rupture, la couche intermédiaire de chaque toron externe est incomplètement insaturée.

[0275] Par définition, une couche incomplètement insaturée fils est telle qu'il n'existe pas suffisamment de place dans cette couche pour y ajouter au moins un  $(X+1)$ ième fil du même diamètre que les  $X$  fils de la couche. En l'espèce, il n'existe pas suffisamment de place dans la couche intermédiaire pour y ajouter au moins un  $(P'+1)$ ième fil intermédiaire du même diamètre que les  $P'$  fils intermédiaires de la couche intermédiaire.

[0276] L'insaturation incomplète de la couche intermédiaire de chaque toron externe permet d'assurer une stabilité architecturale de la couche intermédiaire. En outre, l'insaturation incomplète de la couche intermédiaire de chaque toron externe permet de s'assurer que chaque toron externe comprend un nombre relativement élevé de fils intermédiaires et donc présente une force à rupture relativement élevée.

[0277] Ainsi, avantageusement, la somme  $SI2'$  des distances interfils de la couche intermédiaire est telle que  $SI2' < D3'$  avec  $D3'$  étant le diamètre de chaque fil externe de chaque toron externe, de préférence  $SI2' \leq 0,8 \times D3'$ . La somme  $SI2'$  est la somme des distances interfils séparant chaque couple de fils adjacents de la couche intermédiaire. La distance interfils d'une couche est définie, sur une section du câble perpendiculaire à l'axe principal du câble, comme la distance la plus courte qui sépare, en moyenne, deux fils adjacents de la couche. Ainsi, la distance interfils est calculée en divisant la somme  $SI2'$  par le nombre d'espaces séparant les fils de la couche intermédiaire. Le diamètre  $D3'$  des fils externes de la couche externe de chaque toron externe étant préférentiellement supérieur à la somme  $SI2'$ , on empêche les fils externes de pénétrer dans la couche intermédiaire. On assure ainsi une bonne stabilité architecturale, ce qui réduit de plus le risque de modification des fenêtres de passage radial de la composition d'élastomère et donc le risque de dégrader de la bonne pénétrabilité de chaque toron externe.

[0278] Dans un autre mode de réalisation favorisant la pénétrabilité de chaque toron externe, la couche intermédiaire de chaque toron externe est complètement insaturée.

[0279] Par définition, une couche complètement insaturée de fils est telle qu'il existe suffisamment de place dans cette couche pour y ajouter au moins un  $(X+1)$ ième fil du même diamètre que les  $X$  fils de la couche, plusieurs fils pouvant alors être ou non au contact les uns des autres. En l'espèce, il existe suffisamment de place dans la couche intermédiaire de chaque toron externe pour y ajouter au moins un  $(P'+1)$ ième fil intermédiaire du même diamètre que les  $P'$  fils intermédiaire de la couche intermédiaire.

**[0280]** Un tel mode de réalisation est particulièrement avantageux dans le cas où  $Q'=3$  et  $P'=8$  ou  $Q'=4$  et  $P'=9$  et dans le cas où  $D1'=D2'$ . En effet, si on avait  $Q'=3$  et  $P'=9$  ou  $Q'=4$  et  $P'=10$ , la couche intermédiaire, même en étant désaturée, pourrait, dans certains cas, présenter une distance interfils insuffisante pour une pénétrabilité satisfaisante du toron.

5 **[0281]** De façon avantageuse, la couche externe de chaque toron externe est désaturée, de préférence complètement insaturée.

**[0282]** Comme déjà précisé, par définition, une couche de fils désaturée de fils est telle qu'il existe suffisamment d'espace entre les fils de façon à permettre le passage d'une composition d'élastomère. Ainsi, une couche désaturée signifie que les fils de cette couche  
10 ne se touchent pas et qu'il y a suffisamment d'espace entre deux fils adjacents de la couche permettant le passage d'une composition d'élastomère au travers de la couche. Par opposition, une couche de fils saturée est telle qu'il n'existe suffisamment pas d'espace entre les fils de la couche de façon à permettre le passage d'une composition d'élastomère, par exemple car les fils de la couche se touchent deux à deux.

15 **[0283]** Avantageusement, la distance interfils de la couche externe de chaque toron externe est supérieure ou égale à 5  $\mu\text{m}$ . De préférence, la distance interfils de la couche externe de chaque toron externe est supérieure ou égale à 15  $\mu\text{m}$ , plus préférentiellement supérieure ou égale à 35  $\mu\text{m}$ , encore plus préférentiellement supérieure ou égale à 50  $\mu\text{m}$  et très préférentiellement supérieure ou égale à 60  $\mu\text{m}$ .

20 **[0284]** La désaturation de la couche externe de chaque toron externe permet avantageusement de faciliter le passage de la composition d'élastomère jusqu'au centre de chaque toron externe et donc de rendre chaque toron externe moins sensible à la corrosion.

**[0285]** Par définition, une couche complètement insaturée de fils est telle qu'il existe suffisamment de place dans cette couche pour y ajouter au moins un  $(X'+1)$ ième fil du même  
25 diamètre que les  $X'$  fils de la couche, plusieurs fils pouvant alors être ou non au contact les uns des autres. En l'espèce, il existe suffisamment de place dans la couche externe de chaque toron externe pour y ajouter au moins un  $(N'+1)$ ième fil externe du même diamètre que les  $N'$  fils externe de la couche externe.

**[0286]** L'insaturation complète de la couche externe de chaque toron externe permet de  
30 maximiser la pénétration de la composition d'élastomère dans chaque toron externe et donc de rendre chaque toron externe encore moins sensible à la corrosion.

**[0287]** Ainsi, avantageusement, la somme  $SI3'$  des distances interfils de la couche externe de chaque toron externe est telle que  $SI3' \geq D3'$ . La somme  $SI3'$  est la somme des distances interfils séparant chaque couple de fils adjacents de la couche externe. La distance interfils  
35 d'une couche est définie, sur une section du câble perpendiculaire à l'axe principal du câble, comme la distance la plus courte qui sépare, en moyenne, deux fils adjacents de la couche. Ainsi, la distance interfils est calculée en divisant la somme  $SI3'$  par le nombre d'espaces

séparant les fils de la couche externe.

**[0288]** Dans des modes de réalisation préférés, chaque fil interne de chaque toron externe présente un diamètre  $D1'$  supérieur ou égal au diamètre  $D2'$  de chaque fil intermédiaire de chaque toron externe. L'utilisation de diamètres tels que  $D1' > D2'$  permet de favoriser la pénétrabilité de la composition d'élastomère au travers de la couche intermédiaire. L'utilisation de diamètres tels que  $D1' = D2'$  permet de limiter le nombre de fils différents à gérer lors de la fabrication du câble.

**[0289]** Dans des modes de réalisation préférés, chaque fil interne de chaque toron externe présente un diamètre  $D1'$  supérieur ou égal au diamètre  $D3'$  de chaque fil externe de chaque toron externe. L'utilisation de diamètres tels que  $D1' > D3'$  permet de favoriser la pénétrabilité de la composition d'élastomère au travers de la couche externe. L'utilisation de diamètres tels que  $D1' = D3'$  permet de limiter le nombre de fils différents à gérer lors de la fabrication du câble.

**[0290]** Dans des modes de réalisation préférés, chaque fil intermédiaire de chaque toron externe présente un diamètre  $D2'$  égal au diamètre  $D3'$  de chaque fil externe de chaque toron externe. L'utilisation de diamètres tels que  $D2' = D3'$  permet de limiter le nombre de fils différents à gérer lors de la fabrication du câble.

**[0291]** Avantageusement, chaque toron externe est du type non gommé in situ. Par non gommé in situ, on entend qu'avant assemblage de la couche externe du câble et avant assemblage du câble, chaque toron externe est constitué des fils des différentes couches et dépourvu de composition de polymère, notamment de composition d'élastomère.

**[0292]** Avantageusement, la couche externe du câble est enroulée dans un sens de couche externe du câble et chaque couche interne (lorsque  $Q' > 1$ ), intermédiaire et externe de chaque toron externe est enroulée dans le même sens d'enroulement que le sens de couche externe du câble.

**[0293]** Dans un mode de réalisation, le sens de couche interne du câble et le sens de couche externe du câble sont opposés. Dans ce mode de réalisation, on réduit le risque d'éventuels glissements non désirés des torons externes dans des gorges formées entre les torons internes du fait d'un croisement entre les torons internes et externes.

**[0294]** Dans un autre mode de réalisation, le sens de couche interne du câble et le sens de couche externe du câble sont les mêmes. Dans ce mode de réalisation, la fabrication est relativement aisée car il n'est pas nécessaire contrairement au mode de réalisation précédent de différencier les sens d'enroulement entre les couches interne et externe du câble. Néanmoins, les contacts entre les fils externes des couches externes des torons internes et externes sont relativement longs ce qui peut, dans certaines combinaisons de pas, diamètres et architectures de câbles, générer des défauts d'assemblage dus, par exemple, à un glissement non désiré des torons externes dans les gorges formées entre les

torons internes.

**[0295] PNEUMATIQUE SELON L'INVENTION**

**[0296]** Un autre objet de l'invention est un pneumatique comprenant un câble tel que défini ci-dessus.

**[0297]** 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.

**[0298]** De manière préférentielle, le pneumatique est pour véhicule de type génie civil. Le pneumatique présente une dimension de type W R U dans laquelle, de façon connue pour l'homme du métier, W, désigne :

- le rapport nominal d'aspect H/B tel que défini par l'ETRTO, lorsqu'il est sous la forme H/B, H étant la hauteur de la section du pneumatique et B étant la largeur de la section du pneumatique,

- H.00 ou B.00, lorsqu'il est sous la forme H.00 ou B.00, dans lequel H=B, H et B étant tels que définis ci-dessus,

U représente le diamètre, en pouces, du siège de la jante sur laquelle le pneumatique est destiné à être monté, R désigne le type d'armature de carcasse du pneumatique, ici radiale.

Des exemples de telles dimensions sont par exemple 40.00 R 57 ou encore 59/80 R 63.

**[0299]** On a de préférence  $U \geq 35$ , plus préférentiellement  $U \geq 49$  et plus préférentiellement  $U \geq 57$ .

**[0300]** Avantageusement, le pneumatique comprend 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.

**[0301]** De façon avantageuse, l'armature de carcasse comprend au moins une nappe de carcasse comprenant des éléments filaires de renfort métalliques de carcasse agencés les uns sensiblement parallèlement aux autres dans la nappe de carcasse, chaque élément filaire de renfort métallique de carcasse faisant un angle compris entre  $80^\circ$  et  $90^\circ$  avec la direction circonférentielle du pneumatique.

**[0302]** Avantageusement, l'armature de sommet comprend une armature de travail comprenant au moins un câble tel que défini ci-dessus.

**[0303]** Avantageusement, l'armature de travail comprend au moins une nappe de travail comprenant des éléments filaires de renfort métalliques de travail agencés les uns sensiblement parallèlement aux autres, chaque élément filaire de renfort métallique de travail faisant un angle au plus égal à  $60^\circ$ , de préférence allant de  $15^\circ$  à  $40^\circ$  avec la direction

circonférentielle du pneumatique et étant formé par un câble tel que défini ci-dessus.

**[0304]** Dans un mode de réalisation avantageux, l'armature de travail comprend au moins des première et deuxième nappes de travail, chaque première et deuxième nappe de travail comprenant respectivement des premiers et deuxièmes éléments filaires de renfort métalliques de travail agencés les uns sensiblement parallèlement aux autres dans chaque première et deuxième nappe de travail, chaque premier et deuxième élément filaire de renfort métallique de travail faisant un angle au plus égal à  $60^\circ$ , de préférence allant de  $15^\circ$  à  $40^\circ$  avec la direction circonférentielle du pneumatique et étant formé par un câble tel que défini ci-dessus.

**[0305]** Avantageusement, l'armature de sommet comprend une armature de protection comprenant au moins une nappe de protection comprenant des éléments filaires de renfort métalliques de protection agencés les uns sensiblement parallèlement aux autres, chaque élément filaire de renfort métallique de protection faisant un angle au moins égal à  $10^\circ$ , de préférence allant de  $10^\circ$  à  $35^\circ$  et préférentiellement de  $15^\circ$  à  $30^\circ$  avec la direction circonférentielle du pneumatique.

**[0306]** Dans un mode de réalisation avantageux, l'armature de protection comprend des première et deuxième nappes de protection, chaque première et deuxième nappes de protection comprenant respectivement des premiers et deuxièmes éléments filaires de renfort métalliques de protection agencés les uns sensiblement parallèlement aux autres dans chaque première et deuxième nappe de protection, chaque premier et deuxième élément filaire de renfort métallique de protection faisant un angle au moins égal à  $10^\circ$ , de préférence allant de  $10^\circ$  à  $35^\circ$  et préférentiellement de  $15^\circ$  à  $30^\circ$  avec la direction circonférentielle du pneumatique.

**[0307]** Dans un mode de réalisation préférentiel, l'armature de protection est radialement intercalée entre la bande de roulement et l'armature de travail.

**[0308]** Avantageusement, l'armature de sommet comprend une armature additionnelle comprenant au moins une nappe additionnelle comprenant des éléments filaires de renfort métalliques additionnels agencés les uns sensiblement parallèlement aux autres dans la nappe additionnelle, chaque élément filaire de renfort métallique additionnel faisant un angle au plus égal à  $10^\circ$ , de préférence allant de  $5^\circ$  à  $10^\circ$  avec la direction circonférentielle du pneumatique.

**[0309]** Dans un mode de réalisation avantageux, l'armature additionnelle comprend des première et deuxième nappes additionnelles, chaque première et deuxième nappes additionnelles comprenant respectivement des premiers et deuxièmes éléments filaires de renfort métalliques additionnels agencés les uns sensiblement parallèlement aux autres dans chaque première et deuxième nappe additionnelle, chaque premier et deuxième élément filaire de renfort métallique additionnel faisant un angle au plus égal à  $10^\circ$ , de

préférence allant de 5° à 10° avec la direction circonférentielle du pneumatique.

**[0310]** L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif et faite en se référant aux dessins dans lesquels :

- 5 - 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 schématique en coupe perpendiculaire à l'axe du câble (supposé rectiligne et au repos) d'un câble selon un premier mode de réalisation de  
10 l'invention ;
- la figure 4 est un graphique illustrant la courbe force-allongement du câble de la figure 3 selon le premier mode de réalisation,
- la figure 5 est un graphique analogue à celui de la figure 4 d'un câble selon un deuxième mode de réalisation,
- 15 - la figure 6 est une vue analogue à celle de la figure 3 d'un câble selon un troisième mode de réalisation l'invention,
- la figure 7 est un graphique analogue à celui de la figure 4 du câble selon le troisième mode de réalisation, et
- les figures 8, 9 et 10 sont des vues analogues à celle de la figure 3 de câbles  
20 respectivement selon des huitième, quinzième et vingtdeuxième modes de réalisation.

### **[0311] EXEMPLE DE PNEUMATIQUE SELON L'INVENTION**

**[0312]** Dans les figures, on a représenté un repère X, Y, Z correspondant aux orientations habituelles respectivement axiale (X), radiale (Y) et circonférentielle (Z) d'un pneumatique.

- 25 **[0313]** 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 et passe par le milieu de l'armature de sommet.

**[0314]** On a représenté sur les figures 1 et 2 un pneumatique selon l'invention et désigné par la référence générale 10.

- 30 **[0315]** Le pneumatique 10 est pour véhicule lourd de type génie civil, par exemple de type « dumper ». Ainsi, le pneumatique 10 présente une dimension de type 53/80R63.

**[0316]** Le pneumatique 10 comporte un sommet 12 renforcé par une armature de sommet 14, deux flancs 16 et deux bourrelets 18, chacun de ces bourrelets 18 étant renforcé avec une structure annulaire, ici une tringle 20. L'armature de sommet 14 est surmontée  
35 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.

**[0317]** L'armature de carcasse 24 comprend au moins une nappe de carcasse 30 comprenant des éléments filaires de renfort métalliques de carcasse 31 agencés les uns sensiblement parallèlement aux autres dans la nappe de carcasse 30 et s'étendant d'un bourrelet 18 à l'autre de manière à faire un angle compris entre 80° et 90° avec la direction circonférentielle Z du pneumatique 10.

**[0318]** Le pneumatique 10 comprend également une nappe d'étanchéité 32 constituée d'un élastomère (communément appelée gomme intérieure) qui définit la face radialement interne 34 du pneumatique 10 et qui est destinée à protéger la nappe de carcasse 30 de la diffusion d'air provenant de l'espace intérieur au pneumatique 10.

**[0319]** L'armature de sommet 14 comprend, radialement de l'extérieur vers l'intérieur du pneumatique 10, une armature de protection 36 agencée radialement à l'intérieur de la bande de roulement 22, une armature de travail 38 agencée radialement à l'intérieur de l'armature de protection 36 et une armature additionnelle 50 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 50.

**[0320]** L'armature de protection 36 comprend des première et deuxième nappes de protection 42, 44, la première nappe 42 étant agencée radialement à l'intérieur de la deuxième nappe 44. Chaque première et deuxième nappes de protection 42, 44 comprend respectivement des premiers et deuxièmes éléments filaires de renfort métalliques de protection 43, 45 agencés les uns sensiblement parallèlement aux autres dans chaque première et deuxième nappe de protection 42, 44. Chaque premier et deuxième élément filaire de renfort métallique de protection 43, 45 fait 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.

**[0321]** 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 60. Chaque première et deuxième nappe de travail 46, 48 comprend respectivement des premiers et deuxièmes éléments filaires de renfort métalliques de travail 47, 49 agencés les uns sensiblement parallèlement aux autres dans chaque première et deuxième nappe de travail 46, 48. Chaque premier et deuxième élément filaire de renfort métallique de travail 47, 49 est ici formé par un câble 60 décrit ci-après. Chaque premier et deuxième élément filaire de renfort métallique de travail 47, 49 fait un angle au plus égal à 60°, de préférence allant de 15° à 40° avec la direction circonférentielle Z du pneumatique 10. De façon optionnelle, les premiers et deuxièmes

éléments filaires de renfort métalliques de travail 47, 49 sont croisés d'une nappe de travail à l'autre.

**[0322]** L'armature additionnelle 50, également appelée bloc limiteur, dont la fonction est de reprendre en partie les sollicitations mécaniques de gonflage, comprend des première et deuxième nappes additionnelles 52, 54, chaque première et deuxième nappes additionnelle 52, 54 comprenant respectivement des premiers et deuxièmes éléments filaires de renfort métalliques additionnels 53, 55 agencés les uns sensiblement parallèlement aux autres dans chaque première et deuxième nappe additionnelle 52, 54. Chaque premier et deuxième élément filaire de renfort métallique additionnel 53, 55 fait un angle au plus égal à  $10^\circ$ , de préférence allant de  $5^\circ$  à  $10^\circ$  avec la direction circonférentielle Z du pneumatique 10. Les éléments filaire de renfort métalliques additionnels sont par exemple tels que décrits dans FR 2 419 181 ou FR 2 419 182.

### **[0323] CÂBLE SELON UN PREMIER MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

**[0324]** On a représenté sur la figure 3 le câble 60 selon un premier mode de réalisation de l'invention.

**[0325]** Le câble 60 est métallique et est du type multi-torons à deux couches cylindriques. Ainsi, on comprend que les couches de torons constituant le câble 60 sont au nombre de deux, ni plus, ni moins. Les couches de torons sont adjacentes et concentriques. Le câble 60 est dépourvu de composition polymérique et de composition d'élastomère lorsqu'il n'est pas intégré au pneumatique.

**[0326]** Le câble 60 comprend une couche interne CI du câble 60 ainsi qu'une couche externe CE du câble 60. La couche interne CI est constituée de  $J > 1$  torons internes TI, c'est-à-dire plusieurs torons internes TI, enroulés en hélice. La couche externe CE est constituée de  $L > 1$  torons externes, c'est-à-dire plusieurs torons externes TE enroulés en hélice autour de la couche interne CI. En l'espèce,  $J=2, 3$  ou  $4$ , de préférence  $J=3$  ou  $4$ . De plus,  $L=7, 8, 9$  ou  $10$ , de préférence  $L=8, 9$  ou  $10$ . Avec  $J=3$ ,  $L=7, 8$  ou  $9$  et en l'espèce et ici  $J=3$ ,  $L=8$ .

**[0327]** Le câble 60 comprend également une frette F constituée d'un unique fil de frette.

**[0328]** La couche interne CI est enroulée en hélice selon un sens d'enroulement de la couche interne du câble, ici le sens S. Les torons internes TI sont enroulés en hélice selon un pas PI tel que  $10 \text{ mm} \leq \text{PI} \leq 65 \text{ mm}$  et de préférence  $10 \text{ mm} \leq \text{PI} \leq 45 \text{ mm}$ . Ici  $\text{PI}=15 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\alpha$  de chaque toron interne TI dans la couche interne CI du câble 60 à très bas module va de  $3^\circ$  à  $42^\circ$  et en l'espèce  $\alpha=19,8^\circ$ .

**[0329]** La couche externe CE est enroulée en hélice autour de la couche interne CI selon un sens d'enroulement de la couche externe du câble opposé au sens d'enroulement de la

couche interne du câble, ici le sens Z. Les torons externes TE sont enroulés en hélice autour du toron interne TI selon un pas PE tel que  $30 \text{ mm} \leq \text{PE} \leq 65 \text{ mm}$  et de préférence  $30 \text{ mm} \leq \text{PE} \leq 60 \text{ mm}$ . Ici PE=40 mm. L'angle d'hélice  $\alpha'$  de chaque toron externe TE dans la couche externe CE du câble 60 va de  $7^\circ$  à  $38^\circ$ , et, dans le cas du câble 60 à très bas module, de  $13^\circ$  à  $38^\circ$  et en l'espèce  $\alpha'=20,0^\circ$ .

**[0330]** La frette F est enroulée autour de la couche externe CE selon un sens d'enroulement de la frette, ici opposé au sens d'enroulement de la couche externe CE, en l'espèce dans le sens S. Le fil de frette est enroulé en hélice autour des torons externes TE selon un pas PF tel que  $2 \text{ mm} \leq \text{PF} \leq 10 \text{ mm}$  et de préférence  $3 \text{ mm} \leq \text{PF} \leq 8 \text{ mm}$ . Ici pf=5,1 mm.

**[0331]** L'assemblage constitué par les couches interne CI et externe CE, c'est-à-dire le câble 60 sans la frette F, présente un diamètre D supérieur ou égal à 4 mm, de préférence supérieur ou égal à 4,5 mm et inférieur ou égal à 7 mm, de préférence inférieur ou égal à 6,5 mm. Ici, D=6,1 mm.

**[0332]** La couche interne CI de torons internes TI présente un diamètre DI. Chaque toron externe TE présente un diamètre DE. En l'espèce, DI=3,18 mm, DE=1,46 mm.

**[0333]** La couche externe CE du câble 60 est désaturée et complètement insaturée. La distance E inter-torons moyenne séparant deux torons externes TE adjacents est donc supérieure ou égale à 30  $\mu\text{m}$ . De préférence, la distance E inter-torons moyenne séparant deux torons externes TE adjacents est supérieure ou égale à 70  $\mu\text{m}$ , plus préférentiellement à 100  $\mu\text{m}$ , encore plus préférentiellement à 150  $\mu\text{m}$  et très préférentiellement à 200  $\mu\text{m}$ . Ici, E=241  $\mu\text{m}$ . La somme SIE des distances interfils E de la couche externe CE est supérieure au diamètre DE des torons externes de la couche externe CE. Ici, la somme SIE=8 x 0,241=1,93 mm, valeur strictement supérieure à DE=1,46 mm.

**[0334]** Torons internes TI du câble 60

**[0335]** Chaque toron interne TI est à deux couches. Chaque toron interne TI comprend, ici est constitué, de deux couches, pas plus, pas moins.

**[0336]** Chaque toron interne TI comprend une couche interne C1 constituée de  $Q \geq 1$  fils internes F1 et une couche externe C2 constituée de  $N > 1$  fils externes F2 enroulés en hélice autour et au contact de la couche interne C1.

**[0337]**  $Q=2, 3$  ou 4, de préférence  $Q=3$  ou 4.  $N=7, 8, 9$  ou 10, de préférence  $N=8, 9$  ou 10. Avec  $Q=3, N=7, 8$  ou 9 et en l'espèce  $Q=3, N=8$ .

**[0338]** La couche interne C1 de chaque toron interne TI est enroulée en hélice selon un sens

d'enroulement de couche interne C1 du toron interne TI identique au sens d'enroulement de la couche interne CI du câble, ici selon le sens S. Les Q fils internes F1 sont assemblés au sein de chaque toron interne TI à un pas  $p_1$  tel que  $2 \text{ mm} \leq p_1 \leq 20 \text{ mm}$ . Ici  $p_1=3 \text{ mm}$ .

L'angle d'hélice  $\beta$  de chaque fil interne F1 dans la couche interne C1 au sein de chaque toron interne TI va de  $4^\circ$  à  $25^\circ$ , ici  $\beta=23,4^\circ$ .

**[0339]** La couche externe C2 de chaque toron interne TI est enroulée autour et au contact de la couche interne C1 selon un sens d'enroulement de couche externe C2 du toron interne

TI identique au sens d'enroulement de la couche interne CI du câble, ici selon le sens S. Les N fils externes F2 sont enroulés en hélice autour des Q fils internes F1 et sont assemblés au

sein de chaque toron interne TI à un pas  $p_2$  tel que  $4 \text{ mm} \leq p_2 \leq 40 \text{ mm}$ . Ici  $p_2=6 \text{ mm}$ .

L'angle d'hélice  $\gamma$  de chaque fil externe F2 dans la couche externe C2 au sein de chaque toron interne TI va de  $6^\circ$  à  $31^\circ$ , ici  $\gamma=30,2^\circ$ .

**[0340]** On a  $11^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 110^\circ$  et comme  $Q>1$ ,  $16^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 110^\circ$ . Dans le mode de réalisation du câble 60 à très bas module avec  $Q>1$ ,  $23^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 110^\circ$ . En l'espèce,

$2\alpha + \beta + \gamma=93,2^\circ$ .

**[0341]** Chaque fil interne F1 et externe F2 de chaque toron interne TI présente respectivement un diamètre D1, D2. Chaque diamètre des fils internes D1 et externes D2 de chaque toron interne TI va de 0,15 mm à 0,60 mm, de préférence de 0,20 mm à 0,50 mm, plus préférentiellement de 0,23 mm à 0,45 mm et encore plus préférentiellement de 0,25 mm à 0,40 mm. Chaque fil interne F1 de chaque toron interne TI présente un diamètre D1 supérieur ou égal, ici égal, au diamètre D2 de chaque fil externe F2 de chaque toron interne TI. En l'espèce,  $D1=D2=0,35 \text{ mm}$ .

**[0342]** Du fait du pas  $p_2$  relativement court, la couche externe C2 de chaque toron interne TI est désaturée et incomplètement insaturée. La distance interfils I2 de la couche externe C2 séparant en moyenne les N fils externes est supérieure ou égale à  $5 \mu\text{m}$ . La distance interfils I2 est de préférence supérieure ou égale à  $15 \mu\text{m}$  et ici égale à  $29 \mu\text{m}$ . La somme SI2 des distances interfils I2 de la couche externe C2 est supérieure au diamètre d2 des fils externes F2 de la couche externe C2. Ici, la somme  $SI2=8 \times 0,029=0,23 \text{ mm}$ , valeur strictement inférieure à  $D2=0,35 \text{ mm}$ .

**[0343]** On a également  $25 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ , de préférence  $36 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$  et dans le mode de réalisation du câble 60 à très bas module  $25 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ , de préférence  $36 \text{ GPa} \leq EI \leq 175 \text{ GPa}$ . Ici, la couche interne présente un module relativement

bas, on a  $25 \text{ GPa} \leq EI \leq 94 \text{ GPa}$ , de préférence  $36 \text{ GPa} \leq EI \leq 94 \text{ GPa}$ . En l'espèce,  $EI=53 \text{ GPa}$ .

**[0344]** Torons externes TE du câble 60

5 **[0345]** Chaque toron externe TE est à deux couches. Ainsi, chaque toron externe TE comprend, ici est constitué, de deux couches, pas plus, pas moins.

**[0346]** Chaque toron externe TE comprend une couche interne C1' constituée de  $Q' \geq 1$  fils internes F1' et une couche externe C2' constituée de  $N' > 1$  fils externes F2' enroulés en hélice autour et au contact de la couche interne C1'.

10 **[0347]**  $Q'=2, 3$  ou  $4$ , de préférence  $Q'=3$  ou  $4$ .  $N'=7, 8, 9$  ou  $10$ , de préférence  $N'=8, 9$  ou  $10$ . Avec  $Q'=3$ ,  $N'=7, 8$  ou  $9$  et en l'espèce  $Q'=3$ ,  $N'=8$ .

**[0348]** La couche interne C1' de chaque toron externe TE est enroulée en hélice selon un sens d'enroulement de couche interne C1' du toron externe TE identique au sens d'enroulement de la couche externe CE du câble, ici selon le sens Z. Les  $Q'$  fils internes F1' sont assemblés au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p1'$  tel que  $2 \text{ mm} \leq p1' \leq 20$  mm, de préférence  $5 \text{ mm} \leq p1' \leq 20 \text{ mm}$ . Ici  $p1'=10 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\beta'$  de chaque fil interne F1' dans la couche interne C1' au sein de chaque toron externe TE va de  $4^\circ$  à  $25^\circ$ , de préférence de  $4^\circ$  à  $17^\circ$ , ici  $\beta'=7,3^\circ$ .

**[0349]** La couche externe C2' de chaque toron externe TE est enroulée autour et au contact de la couche interne C1' selon un sens d'enroulement de couche externe C2' du toron externe TE identique au sens d'enroulement de la couche externes CE du câble, ici selon le sens Z. Les  $N'$  fils externes F2' sont enroulés en hélice autour des  $Q'$  fils internes F1' et sont assemblés au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p2'$  tel que  $4 \text{ mm} \leq p2' \leq 40 \text{ mm}$ . Ici  $p2'=20 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma'$  de chaque fil externe F2' dans la couche externe C2' au sein de chaque toron externe TE va de  $5^\circ$  à  $31^\circ$ , ici  $\gamma'=9,8^\circ$ .

**[0350]** On a  $23^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 97^\circ$  et comme  $Q' > 1$ ,  $28^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 97^\circ$  et, dans le mode de réalisation du câble 60 à très bas module,  $43^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 97^\circ$ . En l'espèce,  $2\alpha' + \beta' + \gamma'=57,1^\circ$ .

**[0351]** Chaque fil interne F1' et externe F2' de chaque toron externe TE présente

respectivement un diamètre  $D1'$ ,  $D2'$ . Chaque diamètre des fils internes  $D1'$  et externes  $D2'$  de chaque toron externe TE va de 0,15 mm à 0,60 mm, de préférence de 0,20 mm à 0,50 mm, plus préférentiellement de 0,23 mm à 0,45 mm et encore plus préférentiellement de 0,25 mm à 0,40 mm. Chaque Q' fil interne  $F1'$  de chaque toron externe  $TI'$  présente un diamètre  $D1'$  supérieur ou égal, ici égal au diamètre  $D2'$  de chaque fil externe  $F2'$  de chaque toron externe TE. En l'espèce,  $D1'=D2'=0,35$  mm.

**[0352]** La couche externe  $C2'$  de chaque toron externe TE est désaturée et complètement insaturée. La distance interfils  $I2'$  de la couche externe  $C2'$  séparant en moyenne les N' fils externes est supérieure ou égale à 5  $\mu$ m. La distance interfils  $I2'$  est de préférence supérieure ou égale à 15  $\mu$ m, plus préférentiellement supérieure ou égale à 35  $\mu$ m, encore plus préférentiellement supérieure ou égale à 50  $\mu$ m et très préférentiellement supérieure ou égale à 60  $\mu$ m et ici égale à 69  $\mu$ m. La somme  $SI2'$  des distances interfils  $I2'$  de la couche externe  $C2'$  est supérieure au diamètre  $D2$  des fils externes  $F2'$  de la couche externe  $C2'$ . Ici, la somme  $SI2'=8 \times 0,069=0,55$  mm, valeur strictement supérieure à  $D2'=0,35$  mm.

**[0353]** Chaque fil  $F1$ ,  $F2$ ,  $F1'$ ,  $F2'$  présente une résistance à la rupture, notée  $Rm$ , telle que  $2500 \leq Rm \leq 3100$  MPa. On dit de l'acier de ces fils qu'il est de grade SHT (« Super High Tensile »). D'autres fils peuvent être utilisés, par exemple des fils de grade inférieur, par exemple de grade NT (« Normal Tensile ») ou HT (« High Tensile »), comme des fils de grade supérieur, par exemple de grade UT (« Ultra Tensile ») ou MT (« Mega Tensile »).

**[0354]** On a  $51^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 184^\circ$  et comme  $Q>1$  et  $Q'>1$ ,  $68^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 184^\circ$ . Dans le mode de réalisation du câble 60 à très bas module,  $85^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 184^\circ$  et comme  $Q>1$  et  $Q'>1$ ,  $110^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 184^\circ$ . En l'espèce  $2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma'=150,3^\circ$ .

**[0355]** On a  $1,21 \leq EC/EI$ , de préférence  $1,21 \leq EC/EI \leq 3,00$  et ici  $EC/EI=1,62$ .

**[0356]** On a également  $50 \text{ GPa} \leq EC \leq 160 \text{ GPa}$  et dans le mode de réalisation du câble 60 à très bas module,  $50 \text{ GPa} \leq EC \leq 89 \text{ GPa}$ . Ici  $EC=86 \text{ GPa}$ .

### **[0357] PROCEDE DE FABRICATION DU CABLE SELON L'INVENTION**

**[0358]** On fabrique le câble selon l'invention grâce à un procédé comprenant des étapes bien connues de l'homme du métier.

**[0359]** Dans une étape de fabrication des torons internes utilisant les étapes suivantes, opérées préférentiellement en ligne et en continu :

- tout d'abord, une première étape d'assemblage par retordage des Q fils internes  $F1$  de la

couche interne C1 au pas p1 et dans le sens S pour former la couche interne C1 en un premier point d'assemblage ;

- suivie d'une deuxième étape d'assemblage par retordage des N fils externes F2 autour des N fils internes F1 de la couche interne C1 au pas p2 et dans le sens S pour former la couche externe C2 et chaque toron interne TI en un deuxième point d'assemblage ;

- préférentiellement une étape d'équilibrage final des torsions.

**[0360]** Dans une étape de fabrication des torons externes utilisant les étapes suivantes opérées préférentiellement en ligne et en continu:

- tout d'abord, une première étape d'assemblage par retordage des Q' fils internes F1' de la couche interne C1' au pas p1' et dans le sens Z pour former la couche interne C1' en un premier point d'assemblage ;

- suivie d'une deuxième étape d'assemblage par retordage des N' fils externes F2' autour des N' fils internes F1' de la couche interne C1' au pas p2' et dans le sens Z pour former la couche externe C2' et chaque toron externe TE en un deuxième point d'assemblage ;

- préférentiellement une étape d'équilibrage final des torsions.

**[0361]** Par « équilibrage de torsion », on entend ici de manière bien connue de l'homme du métier l'annulation des couples de torsion résiduels (ou du retour élastique de torsion) s'exerçant sur chaque fil du toron, dans la couche intermédiaire comme dans la couche externe.

**[0362]** Après cette étape ultime d'équilibrage de la torsion, la fabrication de chaque toron est terminée. Chaque toron est enroulé sur une ou plusieurs bobines de réception, pour stockage, avant l'opération ultérieure d'assemblage des torons élémentaires pour l'obtention du câble multi-torons.

**[0363]** Pour la fabrication du câble multi-torons de l'invention, on procède de manière bien connue de l'homme du métier, par câblage des torons précédemment obtenus, à l'aide de machines de câblage dimensionnées pour assembler des torons.

**[0364]** Dans une étape de fabrication de la couche interne CI, on assemble par câblage les Q torons internes TI au pas PI et dans le sens S pour former la couche interne CI en un premier point d'assemblage. Dans les modes de réalisation dans lesquels le pas PI est relativement court et donc dans lesquels  $\alpha$  est relativement élevé, on assemble les Q torons internes TI par retordage afin de limiter le risque d'instabilité de la couche interne CI des torons TI.

**[0365]** Puis, dans une étape de fabrication ultérieure, on assemble par câblage les L torons externes TE autour de la couche interne CI au pas PE et dans le sens Z pour former l'assemblage des couches CI et CE. Dans les modes de réalisation dans lesquels le pas PE est relativement court et donc dans lesquels  $\alpha'$  est relativement élevé, on assemble les L torons externes TE par retordage afin de limiter le risque d'instabilité de la couche externe

CE des torons TE.

**[0366]** Dans une dernière étape de fabrication, on enroule la frette F au pas PF dans le sens S autour de l'assemblage précédemment obtenu.

**[0367]** Le câble est ensuite incorporé par calandrage à des tissus composites formés d'une composition connue à base de caoutchouc naturel et de noir de carbone à titre de charge renforçante, utilisée conventionnellement pour la fabrication des armatures de sommet de pneumatiques radiaux. Cette composition comporte essentiellement, en plus de l'élastomère et de la charge renforçante (noir de carbone), un antioxydant, de l'acide stéarique, une huile d'extension, du naphthénate de cobalt en tant que promoteur d'adhésion, enfin un système de vulcanisation (soufre, accélérateur, ZnO).

**[0368]** Les tissus composites renforcés par ces câbles comportent une matrice de composition élastomérique formée de deux couches fines de composition élastomérique qui sont superposées de part et d'autre des câbles et qui présentent respectivement une épaisseur comprise entre 1 et 4 mm bornes incluses. Le pas de calandrage (pas de pose des câbles dans le tissu de composition élastomérique) va de 4 mm à 8 mm.

**[0369]** Ces tissus composites sont ensuite utilisés en tant que nappe de travail dans l'armature de sommet lors du procédé de fabrication du pneumatique, dont les étapes sont par ailleurs connues de l'homme du métier.

## 20 **[0370] CÂBLE SELON UN 2<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

**[0371]** On va décrire un câble 61 à bas module selon un deuxième mode de réalisation de l'invention. Les éléments analogues au premier mode de réalisation sont désignés par des références identiques.

**[0372]** Parmi les différences entre les câbles 60 et 61, on notera que câble 61 à bas module est tel que l'angle d'hélice  $\alpha$  va de  $3^\circ$  à  $36^\circ$  et en l'espèce  $\alpha=10^\circ$  et que l'angle d'hélice  $\alpha'$  va de  $9^\circ$  à  $27^\circ$  et en l'espèce  $\alpha'=16,1^\circ$ .

**[0373]** On notera également, dans le cas du câble 61 à bas module,  $13^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 110^\circ$  et comme  $Q>1$ ,  $16^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 110^\circ$ . En l'espèce,  $2\alpha + \beta + \gamma=46,2^\circ$ .

**[0374]** On notera également que, dans le mode de réalisation du câble 61 à bas module,  $25 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ , de préférence  $64 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ . La couche interne présentant un module relativement élevé, on a  $95 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ . En l'espèce,  $EI=148 \text{ GPa}$ .

**[0375]** On notera également que, dans le cas du câble 61 à bas module,  $31^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 71^\circ$  et comme  $Q'>1$ ,  $39^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 71^\circ$ . En l'espèce,  $2\alpha' + \beta' + \gamma'=54,3^\circ$ .

**[0376]** On notera également que, dans le cas du câble 61 à bas module,  $65^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma +$

$2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 153^\circ$  et comme  $Q > 1$  et  $Q' > 1$ ,  $79^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 153^\circ$ . En l'espèce  $2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' = 100,5^\circ$ .

**[0377]** On notera que  $0,60 \leq EC/EI \leq 1,20$  et ici  $EC/EI = 0,86$ .

**[0378]** On notera que, dans le mode de réalisation du câble 61 à bas module,  $90 \text{ GPa} \leq EC \leq 130 \text{ GPa}$ . Ici  $EC = 127 \text{ GPa}$ .

### **[0379] CÂBLE SELON UN 3<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

**[0380]** On a représenté sur la figure 6 un câble 62 à moyen module selon un troisième mode de réalisation de l'invention. Les éléments analogues à ceux des câbles précédemment décrits sont désignés par des références identiques.

**[0381]** Parmi les différences entre les câbles 60 et 62, on notera que l'angle d'hélice  $\alpha$  de chaque toron interne TI dans la couche interne CI du câble 62 à moyen module va de  $3^\circ$  à  $24^\circ$  et en l'espèce  $\alpha = 9,1^\circ$ . On notera également que l'angle d'hélice  $\alpha'$  de chaque toron externe TE dans la couche externe CE du câble 62 à moyen module va de  $7^\circ$  à  $22^\circ$  et en l'espèce  $\alpha' = 16,2^\circ$ .

**[0382]** On notera également que, dans le cas du câble 62 à moyen module,  $11^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 64^\circ$  et comme  $Q > 1$ ,  $16^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 63^\circ$  et en l'espèce,  $2\alpha + \beta + \gamma = 29,6^\circ$ .

**[0383]** On notera également que, dans le mode de réalisation du câble 62 à moyen module,  $78 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ , de préférence  $100 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ . Ici, la couche interne présente un module relativement élevé, on a  $95 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$  et en l'espèce,  $EI = 173 \text{ GPa}$ .

**[0384]** On notera également que, dans le mode de réalisation du câble 62 à moyen module,  $23^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 58^\circ$  et comme  $Q' > 1$ ,  $27^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 58^\circ$ . En l'espèce,  $2\alpha' + \beta' + \gamma' = 49,5^\circ$ .

**[0385]** On notera également que, dans le mode de réalisation du câble 62 à moyen module,  $45^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 108^\circ$  et comme  $Q > 1$  et  $Q' > 1$ ,  $60^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 108^\circ$ . En l'espèce  $2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' = 79,1^\circ$ .

**[0386]** On notera également que  $0,60 \leq EC/EI \leq 1,20$ , de préférence  $0,80 \leq EC/EI \leq 1,15$  et ici,  $EC/EI = 0,86$ .

**[0387]** On notera que, dans le mode de réalisation du câble 62 à moyen module,  $131 \text{ GPa} \leq$

EC  $\leq$  160 GPa. Ici EC=149 GPa.

**[0388] CABLE SELON UN 4<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

**[0389]** On va maintenant décrire un câble 63 à très bas module selon un quatrième mode de réalisation de l'invention. Les éléments analogues à ceux des câbles précédemment décrits sont désignés par des références identiques.

**[0390]** Parmi les différences entre les câbles 60 et 63, on notera que, la couche interne présentant un module relativement élevée, on a  $95 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ , de préférence  $95 \text{ GPa} \leq EI \leq 175 \text{ GPa}$ . En l'espèce, EI=158 GPa.

**[0391]** On notera également que  $EC/EI \leq 0,59$ , de préférence  $0,40 \leq EC/EI \leq 0,59$  et ici  $EC/EI=0,50$ .

**[0392] CABLE SELON UN 5<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

**[0393]** On va maintenant décrire un câble 64 à très bas module selon un cinquième mode de réalisation de l'invention. Les éléments analogues à ceux des câbles précédemment décrits sont désignés par des références identiques.

**[0394]** Parmi les différences entre les câbles 62 et 64, on notera que le câble 64 est tel que J=4 et L=9 et que chaque fil F1, F1', F2, F2' est tel que  $D1=D1'=D2=D2'=0,40 \text{ mm}$ .

**[0395] CABLE SELON UN 6<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

**[0396]** On va maintenant décrire un câble 65 à bas module selon un sixième mode de réalisation de l'invention. Les éléments analogues à ceux des câbles précédemment décrits sont désignés par des références identiques.

**[0397]** Parmi les différences entre les câbles 61 et 65, on notera que, la couche interne présentant un module relativement faible, on a  $25 \text{ GPa} \leq EI \leq 94 \text{ GPa}$  et en l'espèce, EI=59 GPa.

**[0398]** On notera également que, dans le mode de réalisation du câble 65,  $1,21 \leq EC/EI$ , de préférence  $1,21 \leq EC/EI \leq 3,00$  et ici  $EC/EI=1,63$ .

**[0399] CABLE SELON UN 7<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

**[0400]** On va maintenant décrire un câble 66 à moyen module selon un septième mode de réalisation de l'invention. Les éléments analogues à ceux des câbles précédemment décrits sont désignés par des références identiques.

**[0401]** Parmi les différences entre les câbles 62 et 66, on notera que le câble 66 est tel que J=4 et L=10 et que chaque fil F1, F1', F2, F2' est tel que son diamètre D1, D1', D2, D2' va de

0,25 mm à 0,40 mm et ici  $D1=D1'=D2=D2'=0,35$  mm.

#### **[0402] CÂBLE SELON UN 8<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

**[0403]** On a représenté sur la figure 8 le câble 160 selon un huitième mode de réalisation de l'invention.

**[0404]** Le câble 160 est métallique et est du type multi-torons à deux couches cylindriques. Ainsi, on comprend que les couches de torons constituant le câble 160 sont au nombre de deux, ni plus, ni moins. Les couches de torons sont adjacentes et concentriques. Le câble 160 est dépourvu de composition polymérique et de composition d'élastomère lorsqu'il n'est pas intégré au pneumatique.

**[0405]** Le câble 160 comprend une couche interne CI du câble 160 ainsi qu'une couche externe CE du câble 160. La couche interne CI est constituée de  $J > 1$  torons internes TI, c'est-à-dire plusieurs torons internes TI, enroulés en hélice. La couche externe CE est constituée de  $L > 1$  torons externes, c'est-à-dire plusieurs torons externes TE enroulés en hélice autour de la couche interne CI. En l'espèce,  $J=2, 3$  ou  $4$ , de préférence  $J=3$  ou  $4$ . De plus,  $L=7, 8, 9$  ou  $10$ , de préférence  $L=8, 9$  ou  $10$ . Avec  $J=3, L=7, 8$  ou  $9$  et en l'espèce et ici  $J=3, L=8$ .

**[0406]** Le câble 160 comprend également une frette F constituée d'un unique fil de frette.

**[0407]** La couche interne CI est enroulée en hélice selon un sens d'enroulement de la couche interne du câble, ici le sens S. Les torons internes TI sont enroulés en hélice selon un pas PI tel que  $10 \text{ mm} \leq PI \leq 65 \text{ mm}$  et de préférence  $10 \text{ mm} \leq PI \leq 45 \text{ mm}$ . Ici  $PI=20 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\alpha$  de chaque toron interne TI dans la couche interne CI du câble 160 va de  $4^\circ$  à  $41^\circ$  et dans le mode de réalisation du câble 160 à bas module de  $4^\circ$  à  $31^\circ$ , en l'espèce  $\alpha=13,4^\circ$ .

**[0408]** La couche externe CE est enroulée en hélice autour de la couche interne CI selon un sens d'enroulement de la couche externe du câble opposé au sens d'enroulement de la couche interne du câble, ici le sens Z. Les torons externes TE sont enroulés en hélice autour du toron interne TI selon un pas PE tel que  $30 \text{ mm} \leq PE \leq 65 \text{ mm}$  et de préférence  $30 \text{ mm} \leq PE \leq 60 \text{ mm}$ . Ici  $PE=40 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\alpha'$  de chaque toron externe TE dans la couche externe CE du câble 160 va de  $13^\circ$  à  $36^\circ$  et dans le mode de réalisation du câble 160 à bas module de  $13^\circ$  à  $32^\circ$ , en l'espèce  $\alpha'=19,1^\circ$ .

**[0409]** La frette F est enroulée autour de la couche externe CE selon un sens d'enroulement de la frette, ici opposé au sens d'enroulement de la couche externe CE, en l'espèce dans le sens S. Le fil de frette est enroulé en hélice autour des torons externes TE selon un pas PF

tel que  $2 \text{ mm} \leq PF \leq 10 \text{ mm}$  et de préférence  $3 \text{ mm} \leq PF \leq 8 \text{ mm}$ . Ici  $pf=5,1 \text{ mm}$ .

**[0410]** L'assemblage constitué par les couches interne CI et externe CE, c'est-à-dire le câble 160 sans la frette F, présente un diamètre D supérieur ou égal à 4 mm, de préférence supérieur ou égal à 4,5 mm et inférieur ou égal à 7 mm, de préférence inférieur ou égal à 6,5 mm. Ici,  $D=6 \text{ mm}$ .

**[0411]** La couche interne CI de torons internes TI présente un diamètre DI. Chaque toron externe TE présente un diamètre DE. En l'espèce,  $DI=2,83 \text{ mm}$ ,  $DE=1,58 \text{ mm}$ .

**[0412]** La couche externe CE du câble 160 est désaturée et incomplètement insaturée. Ici, la distance E inter-torons moyenne séparant deux torons externes TE adjacents est telle que  $E=29 \text{ }\mu\text{m}$ . La somme SIE des distances interfils E de la couche externe CE est inférieure au diamètre DE des torons externes de la couche externe CE. Ici, la somme  $SIE=8 \times 0,029=0,23 \text{ mm}$ , valeur strictement inférieure à  $DE=1,58 \text{ mm}$ .

#### **[0413]** Torons internes TI du câble 160

**[0414]** Chaque toron interne TI est à trois couches. Chaque toron interne TI comprend, ici est constitué, de trois couches, pas plus, pas moins.

**[0415]** Chaque toron interne TI comprend une couche interne C1 constituée de  $Q \geq 1$  fils internes F1, une couche intermédiaire C2 constituée de  $P > 1$  fils intermédiaires F2 enroulés en hélice autour et au contact de la couche interne C1 et une couche externe C3 constituée de  $N > 1$  fils externes F3 enroulés en hélice autour et au contact de la couche intermédiaire C2.

**[0416]**  $Q=1$ ,  $P=5$  ou 6 et  $N=10$ , 11 ou 12, de préférence  $Q=1$ ,  $P=5$  ou 6,  $N=10$  ou 11 et plus préférentiellement ici  $Q=1$ ,  $P=6$  et  $N=11$ .

**[0417]** Dans le cas où  $Q > 1$ , la couche interne C1 de chaque toron interne TI est enroulée en hélice selon un sens d'enroulement de couche interne C1 du toron interne TI identique au sens d'enroulement de la couche interne CI du câble, ici selon le sens S. Ici, Le  $Q=1$  fil interne F1 est assemblé au sein de chaque toron interne TI selon un pas infini de sorte que  $\beta=0$ .

**[0418]** La couche intermédiaire C2 de chaque toron interne TI est enroulée autour et au contact de la couche interne C1 selon un sens d'enroulement de couche intermédiaire C2 du toron interne TI identique au sens d'enroulement de la couche interne CI du câble, ici selon le sens S. Les P fils intermédiaires F2 sont enroulés en hélice autour du  $Q=1$  fil interne F1 et sont assemblés au sein de chaque toron interne TI à un pas  $p_2$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p_2 \leq 20 \text{ mm}$ . Ici  $p_2=7,7 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\delta$  de chaque fil intermédiaire F2 dans la couche intermédiaire

C2 au sein de chaque toron interne TI va de  $6^\circ$  à  $30^\circ$ , ici  $\delta=12,2^\circ$ .

**[0419]** La couche externe C3 de chaque toron interne TI est enroulée autour et au contact de la couche intermédiaire C2 selon un sens d'enroulement de couche externe C3 du toron interne TI identique au sens d'enroulement de la couche interne CI du câble, ici selon le sens

5 S. Les N fils externes F3 sont enroulés en hélice autour des P fils intermédiaires F2 et sont assemblés au sein de chaque toron interne TI à un pas  $p_3$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p_3 \leq 40 \text{ mm}$ . Ici  $p_3=15,4 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma$  de chaque fil externe F3 dans la couche externe C3 au sein de chaque toron interne TI va de  $7^\circ$  à  $30^\circ$ , ici  $\gamma=12,1^\circ$ .

**[0420]** On a  $25^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 158^\circ$  et ici comme  $Q=1$ ,  $25^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 140^\circ$ . En l'

10 espèce, dans ce premier mode de réalisation du câble 160 à bas module,  $25^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 125^\circ$  et ici comme  $Q=1$ ,  $25^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 120^\circ$ . Dans le cas du câble 160,  $3\alpha + \beta + \delta + \gamma=64,5^\circ$ .

**[0421]** Chaque fil interne F1, intermédiaire F2 et externe F3 de chaque toron interne TI présente respectivement un diamètre D1, D2, D3. Chaque diamètre des fils internes D1, 15 intermédiaire D2 et externes D3 de chaque toron interne TI va de 0,15 mm à 0,60 mm, de préférence de 0,20 mm à 0,50 mm, plus préférentiellement de 0,23 mm à 0,45 mm et encore plus préférentiellement de 0,25 mm à 0,40 mm. Chaque fil interne F1 de chaque toron interne TI présente un diamètre D1 supérieur ou égal, ici égal au diamètre D2 de chaque fil intermédiaire F2 de chaque toron interne TI. Chaque fil interne F1 de chaque toron interne TI 20 présente un diamètre D1 supérieur ou égal, ici égal, au diamètre D3 de chaque fil externe F3 de chaque toron interne TI. Chaque fil intermédiaire F2 de chaque toron interne TI présente un diamètre D2 égal au diamètre D3 de chaque fil externe F3 de chaque toron interne TI. En l'espèce,  $D1=D2=D3=0,26 \text{ mm}$ .

**[0422]** La couche intermédiaire C2 de chaque toron interne TI est saturée. Ici la distance I2 25 est environ égale à 0.

**[0423]** La couche externe C3 de chaque toron interne TI est désaturée et complètement insaturée. La distance interfils I3 de la couche externe C3 séparant en moyenne les N fils externes est supérieure ou égale à 5  $\mu\text{m}$ . La distance interfils I3 est de préférence supérieure ou égale à 15  $\mu\text{m}$  et ici égale à 30  $\mu\text{m}$ . La somme S13 des distances interfils I3 de la couche 30 externe C3 est supérieure au diamètre D3 des fils externes F3 de la couche externe C3. Ici, la somme  $S13=11 \times 0,030=0,33 \text{ mm}$ , valeur strictement supérieure à  $D2=0,26 \text{ mm}$ .

**[0424]** On a également  $25 \text{ GPa} \leq E_I \leq 180 \text{ GPa}$ , de préférence  $36 \text{ GPa} \leq E_I \leq 180 \text{ GPa}$  et dans le mode de réalisation du câble 160 à bas module  $25 \text{ GPa} \leq E_I \leq 180 \text{ GPa}$ , de préférence  $64 \text{ GPa} \leq E_I \leq 180 \text{ GPa}$ . Ici, la couche interne présente un module relativement

élevé, on a  $95 \text{ GPa} \leq E_I \leq 180 \text{ GPa}$ . En l'espèce,  $E_I = 147 \text{ GPa}$ .

**[0425]** Torons externes TE du câble 160

**[0426]** Chaque toron externe TE est à trois couches. Ainsi, chaque toron externe TE comprend, ici est constitué, de trois couches, pas plus, pas moins.

**[0427]** Chaque toron externe TE comprend une couche interne C1' constituée de  $Q' \geq 1$  fils internes F1', une couche intermédiaire C2' constituée de  $P' > 1$  fils intermédiaires F2' enroulée en hélice autour et au contact de la couche interne C1' et une couche externe C3' constituée de  $N' > 1$  fils externes F3' enroulés en hélice autour et au contact de la couche intermédiaire C2'.

**[0428]**  $Q' = 1$ ,  $P' = 5$  ou  $6$  et  $N' = 10$ ,  $11$  ou  $12$ , de préférence  $Q' = 1$ ,  $P' = 5$  ou  $6$ ,  $N' = 10$  ou  $11$  et plus préférentiellement ici  $Q' = 1$ ,  $P' = 6$  et  $N' = 11$ .

**[0429]** Dans le cas où  $Q' > 1$ , la couche interne C1' de chaque toron externe TE est enroulée en hélice selon un sens d'enroulement de couche interne C1' du toron externe TE identique au sens d'enroulement de la couche externe CE du câble, ici selon le sens Z. Ici, le  $Q' = 1$  fil interne F1' est assemblé au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p_1'$  infini de sorte que  $\beta' = 0$ .

**[0430]** La couche intermédiaire C2' de chaque toron externe TE est enroulée autour et au contact de la couche interne C1' selon un sens d'enroulement de couche intermédiaire C2' du toron externe TE identique au sens d'enroulement de la couche externe CE du câble, ici selon le sens Z. Les  $P'$  fils intermédiaires F2' sont enroulés en hélice autour du  $Q' = 1$  fil interne F1' et sont assemblés au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p_2'$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p_2' \leq 20 \text{ mm}$ . Ici  $p_2' = 7,7 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\delta'$  de chaque fil intermédiaires F2' dans la couche intermédiaire C2' au sein de chaque toron externe TE va de  $6^\circ$  à  $22^\circ$ , ici  $\delta' = 15,5^\circ$ .

**[0431]** La couche externe C3' de chaque toron externe TE est enroulée autour et au contact de la couche intermédiaire C2' selon un sens d'enroulement de couche externe C3' du toron externe TE identique au sens d'enroulement de la couche externe CE du câble, ici selon le sens Z. Les  $N'$  fils externes F3' sont enroulés en hélice autour des  $P'$  fils intermédiaires F2' et sont assemblés au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p_3'$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p_3' \leq 40 \text{ mm}$ . Ici  $p_3' = 15,4 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma'$  de chaque fil externe F3' dans la couche externe

C3' au sein de chaque toron externe TE va de  $7^\circ$  à  $22^\circ$ , ici  $\gamma'=14,6^\circ$ .

**[0432]** On a  $48^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 154^\circ$  et ici comme  $Q'=1$ ,  $48^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 145^\circ$ .

En l'espèce, dans ce premier mode de réalisation du câble 160 à bas module,  $54^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 123^\circ$  et ici comme  $Q'=1$ ,  $54^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 118^\circ$ . Dans le cas du câble 160,

5  $3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma'=87,4^\circ$ .

**[0433]** Chaque fil interne F1', intermédiaire F2' et externe F3' de chaque toron externe TE présente respectivement un diamètre D1', D2', D3'. Chaque diamètre des fils internes D1', intermédiaires D2' et externes D3' de chaque toron externe TE va de 0,15 mm à 0,60 mm, de préférence de 0,20 mm à 0,50 mm, plus préférentiellement de 0,23 mm à 0,45 mm et encore plus préférentiellement de 0,25 mm à 0,40 mm. Chaque Q' fil interne F1' de chaque toron externe TE présente un diamètre D1' supérieur ou égal au diamètre D2' de chaque fil intermédiaire F2' de chaque toron externe TE. Chaque Q' fil interne F1' de chaque toron externe TE présente un diamètre D1' supérieur ou égal au diamètre D3' de chaque fil externe F3' de chaque toron externe TE. Chaque N' fil intermédiaire F2' de chaque toron externe TE présente un diamètre D2' égal au diamètre D3' de chaque fil externe F3' de chaque toron externe TE. En l'espèce,  $D1'=0,38 \text{ mm} > D2'=D3'=0,30 \text{ mm}$ .

**[0434]** La couche intermédiaire C2' de chaque toron externe TE est désaturée et incomplètement insaturée. La distance interfils I2' de la couche intermédiaire C2' séparant en moyenne les P' fils intermédiaires est supérieure ou égale à 5  $\mu\text{m}$ . La distance interfils I2' est de préférence supérieure ou égale à 15  $\mu\text{m}$  et ici égale à 32  $\mu\text{m}$ . La somme SI2' des distances interfils I2' de la couche intermédiaire C2' est supérieure au diamètre D2 des fils intermédiaires F2' de la couche intermédiaire C2'. Ici, la somme  $SI2'=6 \times 0,032=0,19 \text{ mm}$ , valeur strictement inférieure à  $D2'=0,30 \text{ mm}$ . De plus, la somme SI2' des distances interfils I2' est telle que  $SI2' < D3'$  et même  $SI2' < 0,8 \times D3'$ .

**[0435]** La couche externe C3' de chaque toron externe TE est désaturée et complètement insaturée. La distance interfils I3' de la couche externe C3' séparant en moyenne les N' fils externes est supérieure ou égale à 5  $\mu\text{m}$ . La distance interfils I3' est de préférence supérieure ou égale à 15  $\mu\text{m}$ , plus préférentiellement supérieure ou égale à 35  $\mu\text{m}$ , encore plus préférentiellement supérieure ou égale à 50  $\mu\text{m}$  et ici égale à 52  $\mu\text{m}$ . La somme SI3' des distances interfils I3' de la couche externe C3' est supérieure au diamètre D3' des fils externes F3' de la couche externe C3'. Ici, la somme  $SI3'=11 \times 0,052=0,57 \text{ mm}$ , valeur strictement supérieure à  $D3'=0,30 \text{ mm}$ .

**[0436]** Chaque fil F1, F2, F3, F1', F2', F3' présente une résistance à la rupture, notée Rm, telle que  $2500 \leq Rm \leq 3100 \text{ MPa}$ . On dit de l'acier de ces fils qu'il est de grade SHT (« Super High Tensile »). D'autres fils peuvent être utilisés, par exemple des fils de grade inférieur, par

exemple de grade NT (« Normal Tensile ») ou HT (« High Tensile »), comme des fils de grade supérieur, par exemple de grade UT (« Ultra Tensile ») ou MT (« Mega Tensile »).

**[0437]** On a  $84^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 280^\circ$ . En l'espèce, comme  $Q=1$  et

$Q'=1$ ,  $84^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 246^\circ$ . Dans le mode de réalisation du câble

5 160 à bas module,  $107^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 211^\circ$  et comme  $Q=1$  et  $Q'=1$ ,  $107^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 197^\circ$  et ici  $3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' = 151,9^\circ$ .

**[0438]** On a  $0,60 \leq EC/EI \leq 1,20$  et ici  $EC/EI=0,70$ .

**[0439]** On a également  $50 \text{ GPa} \leq EC \leq 160 \text{ GPa}$  et dans ce mode de réalisation du câble

10 160 à bas module,  $90 \text{ GPa} \leq EC \leq 130 \text{ GPa}$ . Ici  $EC=103 \text{ GPa}$ .

#### **[0440] CABLE SELON UN 9<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

**[0441]** On va maintenant décrire un câble 161 à bas module selon un deuxième mode de réalisation de l'invention. Les éléments analogues à ceux du câble 160 sont désignés par

15 des références identiques.

**[0442]** Parmi les différences entre les câbles 160 et 161, on notera particulièrement que le câble 161 est tel que  $J=4$  et  $L=10$  et que chaque fil  $F1, F1', F2, F2', F3, F3'$  est tel que son diamètre  $D1, D1', D2, D2', D3, D3'$  est tel que  $D1=D2=D3=0,40 \text{ mm}$  et  $D1'=D2'=D3'=0,30 \text{ mm}$ .

20

#### **[0443] CABLE SELON UN 10<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

**[0444]** On va maintenant décrire un câble 162 à bas module selon un troisième mode de réalisation de l'invention. Les éléments analogues à ceux des câbles précédemment décrits sont désignés par des références identiques.

25 **[0445]** Parmi les différences entre les câbles 160 et 162,  $Q>1$ ,  $Q=2, 3$  ou  $4$ ,  $P=7, 8, 9$  ou  $10$ ,  $N=13, 14$  ou  $15$  et ici  $Q=3$ ,  $P=8$  et  $N=13$ . Les  $Q$  fils internes  $F1$  sont enroulés en hélice au sein de chaque toron interne  $TI$  à un pas  $p1$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p1 \leq 15 \text{ mm}$ . Ici,  $p1=8 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\beta$  de chaque fil interne  $F1$  de la couche interne au sein de chaque toron interne  $TI$  va de  $4^\circ$  à  $17^\circ$ , ici  $\beta=6,7^\circ$ . Les  $P$  fils intermédiaires  $F2$  sont enroulés en hélice

30 autour des  $Q$  fils internes  $F1$  et sont assemblés au sein de chaque toron interne  $TI$  à un pas  $p2$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p2 \leq 20 \text{ mm}$ . Ici  $p2=15 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\delta$  de chaque fil intermédiaire  $F2$  dans la couche intermédiaire  $C2$  au sein de chaque toron interne  $TI$  va de  $8^\circ$  à  $22^\circ$ , ici  $\delta=9,8^\circ$ . Les  $N$  fils externes  $F3$  sont enroulés en hélice autour des  $P$  fils intermédiaires  $F2$  et

sont assemblés au sein de chaque toron interne TI à un pas  $p_3$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p_3 \leq 40 \text{ mm}$ . Ici  $p_3=20 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma$  de chaque fil externe F3 dans la couche externe C3 au sein de chaque toron interne TI va de  $9^\circ$  à  $25^\circ$ , ici  $\gamma=11,9^\circ$ .

**[0446]** On notera également que, comme  $Q>1$ , on a  $36^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 158^\circ$  et dans le mode de réalisation du câble 162 à bas module,  $36^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 125^\circ$  et ici  $3\alpha + \beta + \delta + \gamma=108,5^\circ$ .

**[0447]** On notera également que, la couche interne du câble 162 présentant un module relativement faible,  $25 \text{ GPa} \leq EI \leq 94 \text{ GPa}$ , de préférence  $64 \text{ GPa} \leq EI \leq 94 \text{ GPa}$  et ici  $EI=82 \text{ GPa}$ .

**[0448]** On notera également que  $Q'>1$ ,  $Q'=2, 3$  ou  $4$ ,  $P'=7, 8, 9$  ou  $10$ ,  $N'=13, 14$  ou  $15$  et ici  $Q'=3$ ,  $P'=8$  et  $N'=13$ . Les  $Q'$  fils internes F1' sont enroulés en hélice au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p_1'$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p_1' \leq 15 \text{ mm}$ . Ici,  $p_1'=12 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\beta'$  de chaque fil interne F1' de la couche interne au sein de chaque toron externe TE va de  $4^\circ$  à  $20^\circ$ , ici  $\beta'=4,5^\circ$ . Les  $P'$  fils intermédiaires F2' sont assemblés au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p_2'$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p_2' \leq 20 \text{ mm}$ . Ici  $p_2'=18 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\delta'$  de chaque fil intermédiaires F2' dans la couche intermédiaire C2' au sein de chaque toron externe TE va de  $8^\circ$  à  $22^\circ$ , ici  $\delta'=8,1^\circ$ . Les  $N'$  fils externes F3' sont assemblés au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p_3'$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p_3' \leq 40 \text{ mm}$ . Ici  $p_3'=25 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma'$  de chaque fil externe F3' dans la couche externe C3' au sein de chaque toron externe TE va de  $9^\circ$  à  $25^\circ$ , ici  $\gamma'=9,6^\circ$ .

**[0449]** On notera également que, comme  $Q'>1$ , on a  $61^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 154^\circ$  et dans le cas du câble 162 à bas module,  $65^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 123^\circ$  et ici  $3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma'=71,4^\circ$ .

**[0450]** On notera également que, comme  $Q>1$  et  $Q'>1$ , on a  $101^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 280^\circ$  et dans le mode de réalisation du câble 162 à bas module,  $120^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 211^\circ$  et ici  $3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma'=179,9^\circ$ .

**[0451]** . On a également  $1,21 \leq EC/EI$  et de préférence  $1,21 \leq EC/EI \leq 3,00$  et dans le mode de réalisation du câble 162 à bas module,  $1,21 \leq EC/EI \leq 3,00$  et ici  $EC/EI=1,29$ .

#### **[0452] CÂBLE SELON UN 11<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

**[0453]** On va maintenant décrire un câble 163 à très bas module selon un quatrième mode de réalisation de l'invention. Les éléments analogues à ceux des câbles précédemment décrits sont désignés par des références identiques.

**[0454]** Parmi les différences entre les câbles 160 et 163, on notera que l'angle d'hélice  $\alpha$  de chaque toron interne TI dans la couche interne CI du câble 163 à très bas module va de  $6^\circ$  à

41°, en l'espèce  $\alpha=24,6^\circ$ .

**[0455]** On notera également que l'angle d'hélice  $\alpha'$  de chaque toron externe TE dans la couche externe CE du câble 163 à très bas module de  $14^\circ$  à  $36^\circ$ , en l'espèce  $\alpha'=16,3^\circ$ .

**[0456]** On notera également que  $Q>1$ ,  $Q=2, 3$  ou  $4$ ,  $P=7, 8, 9$  ou  $10$ ,  $N=13, 14$  ou  $15$  et ici  $Q=3$ ,  $P=8$  et  $N=13$ . Les  $Q$  fils internes F1 sont enroulés en hélice au sein de chaque toron interne TI à un pas  $p_1$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p_1 \leq 15 \text{ mm}$ . Ici,  $p_1=5 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\beta$  de chaque fil interne F1 de la couche interne au sein de chaque toron interne TI va de  $4^\circ$  à  $17^\circ$ , ici  $\beta=12,4^\circ$ . Les  $P$  fils intermédiaires F2 sont enroulés en hélice autour des  $Q$  fils internes F1 et sont assemblés au sein de chaque toron interne TI à un pas  $p_2$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p_2 \leq 20$  mm. Ici  $p_2=10 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\delta$  de chaque fil intermédiaire F2 dans la couche intermédiaire C2 au sein de chaque toron interne TI va de  $8^\circ$  à  $22^\circ$ , ici  $\delta=16,6^\circ$ . Les  $N$  fils externes F3 sont enroulés en hélice autour des  $P$  fils intermédiaires F2 et sont assemblés au sein de chaque toron interne TI à un pas  $p_3$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p_3 \leq 40 \text{ mm}$ . Ici  $p_3=15 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma$  de chaque fil externe F3 dans la couche externe C3 au sein de chaque toron interne TI va de  $9^\circ$  à  $25^\circ$ , ici  $\gamma=18^\circ$ .

**[0457]** On notera également que, dans ce mode de réalisation du câble 163 à très bas module,  $29^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 158^\circ$  et ici comme  $Q>1$ ,  $42^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 158^\circ$ . Dans le cas du câble 163,  $3\alpha + \beta + \delta + \gamma=120,8^\circ$ .

**[0458]** On notera également que, dans le cas du câble 163 à très bas module présentant une couche interne présentant un module relativement faible,  $25 \text{ GPa} \leq EI \leq 94 \text{ GPa}$ , de préférence  $36 \text{ GPa} \leq EI \leq 94 \text{ GPa}$  et en l'espèce,  $EI=74 \text{ GPa}$ .

**[0459]** On notera également que, dans le mode de réalisation du câble 163 à très bas module,  $65^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 153^\circ$  et ici comme  $Q'=1$ ,  $65^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 143^\circ$  et en l'espèce,  $3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma'=91,8^\circ$ .

**[0460]** On notera également que, comme  $Q>1$  et  $Q'=1$ ,  $96^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 261^\circ$ . Dans le mode de réalisation du câble 163 à très bas module,  $138^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 280^\circ$  et comme  $Q>1$  et  $Q'=1$ ,  $144^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 261^\circ$  et ici  $3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma'=212,6^\circ$ .

**[0461]** On notera que dans le mode de réalisation du câble 163 à très bas module  $0,60 \leq EC/EI \leq 1,20$  et ici  $EC/EI=1,08$ .

**[0462]** On a également  $50 \text{ GPa} \leq EC \leq 160 \text{ GPa}$  et dans ce mode de réalisation du câble 163 à très bas module  $50 \text{ GPa} \leq EC \leq 89 \text{ GPa}$ . Ici  $EC=80 \text{ GPa}$ .

**[0463] CABLE SELON UN 12<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

**[0464]** On va maintenant décrire un câble 164 à très bas module selon un cinquième mode de réalisation de l'invention. Les éléments analogues à ceux des câbles précédemment décrits sont désignés par des références identiques.

**[0465]** Parmi les différences entre les câbles 163 et 164, on notera que la couche interne présente un module relativement élevé et est telle que  $95 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ , de préférence  $95 \text{ GPa} \leq EI \leq 175 \text{ GPa}$ . En l'espèce,  $EI=157 \text{ GPa}$ .

**[0466]** On notera également que  $Q' > 1$ ,  $Q' = 2, 3$  ou  $4$ ,  $P' = 7, 8, 9$  ou  $10$ ,  $N' = 13, 14$  ou  $15$  et ici  $Q' = 3$ ,  $P' = 8$  et  $N' = 13$ . Les  $Q'$  fils internes  $F1'$  sont enroulés en hélice au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p1'$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p1' \leq 15 \text{ mm}$ . Ici,  $p1' = 8 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\beta'$  de chaque fil interne  $F1'$  de la couche interne au sein de chaque toron externe TE va de  $4^\circ$  à  $20^\circ$ , ici  $\beta' = 7,8^\circ$ . Les  $P'$  fils intermédiaires  $F2'$  sont assemblés au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p2'$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p2' \leq 20 \text{ mm}$ . Ici  $p2' = 15 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\delta'$  de chaque fil intermédiaires  $F2'$  dans la couche intermédiaire  $C2'$  au sein de chaque toron externe TE va de  $8^\circ$  à  $22^\circ$ , ici  $\delta' = 11,2^\circ$ . Les  $N'$  fils externes  $F3'$  sont assemblés au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p3'$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p3' \leq 40 \text{ mm}$ . Ici  $p3' = 20 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma'$  de chaque fil externe  $F3'$  dans la couche externe  $C3'$  au sein de chaque toron externe TE va de  $9^\circ$  à  $25^\circ$ , ici  $\gamma' = 13,7^\circ$ .

**[0467]** On notera que  $48^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 154^\circ$  et ici comme  $Q' > 1$ ,  $61^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 154^\circ$ . En l'espèce, dans ce mode de réalisation du câble 164 à très bas module,  $65^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 153^\circ$  et ici comme  $Q' > 1$ ,  $78^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 153^\circ$ . Dans le cas du câble 164,  $3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' = 130,8^\circ$ .

**[0468]** On notera que  $84^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 280^\circ$ . En l'espèce, comme  $Q > 1$  et  $Q' > 1$ ,  $101^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 280^\circ$ . Dans le mode de réalisation du câble 164 à très bas module,  $138^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 280^\circ$  et comme  $Q > 1$  et  $Q' > 1$ ,  $144^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 280^\circ$  et ici  $3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' = 190,1^\circ$ .

**[0469]** On notera également que  $EC/EI \leq 0,59$ , de préférence  $0,40 \leq EC/EI \leq 0,59$  et ici  $EC/EI = 0,49$ .

### **[0470] CÂBLE SELON UN 13<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

**[0471]** On va maintenant décrire un câble 165 à très bas module selon un sixième mode de réalisation de l'invention. Les éléments analogues à ceux des câbles précédemment décrits sont désignés par des références identiques.

**[0472]** Parmi les différences entre les câbles 163 et 165, on notera que  $Q=1$ ,  $P=5$  ou  $6$  et  $N=10$ ,  $11$  ou  $12$ , de préférence  $Q=1$ ,  $P=5$  ou  $6$ ,  $N=10$  ou  $11$  et plus préférentiellement ici  $Q=1$ ,  $P=6$  et  $N=11$  et que le  $Q=1$  fil interne  $F1$  est assemblé au sein de chaque toron interne  $TI$  selon un pas infini de sorte que  $\beta=0$ . Les  $P$  fils intermédiaires  $F2$  sont enroulés en hélice autour du  $Q=1$  fil interne  $F1$  et sont assemblés au sein de chaque toron interne  $TI$  à un pas  $p_2$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p_2 \leq 20 \text{ mm}$ . Ici  $p_2=15 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\delta$  de chaque fil intermédiaire  $F2$  dans la couche intermédiaire  $C2$  au sein de chaque toron interne  $TI$  va de  $6^\circ$  à  $30^\circ$ , ici  $\delta=9,6^\circ$ . Les  $N$  fils externes  $F3$  sont enroulés en hélice autour des  $P$  fils intermédiaires  $F2$  et sont assemblés au sein de chaque toron interne  $TI$  à un pas  $p_3$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p_3 \leq 40$  mm. Ici  $p_3=25 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma$  de chaque fil externe  $F3$  dans la couche externe  $C3$  au sein de chaque toron interne  $TI$  va de  $7^\circ$  à  $30^\circ$ , ici  $\gamma=11,4^\circ$ .

**[0473]** On notera également que  $25^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 158^\circ$  et ici comme  $Q=1$ ,  $25^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 140^\circ$ . En l'espèce, dans ce mode de réalisation du câble 165 à très bas module,  $29^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 158^\circ$  et ici comme  $Q=1$ ,  $29^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 140^\circ$ . Dans le cas du câble 165,  $3\alpha + \beta + \delta + \gamma=120,9^\circ$ .

**[0474]** On notera également que  $Q'>1$ ,  $Q'=2, 3$  ou  $4$ ,  $P'=7, 8, 9$  ou  $10$ ,  $N'=13, 14$  ou  $15$  et ici  $Q'=3$ ,  $P'=8$  et  $N'=13$ . Les  $Q'$  fils internes  $F1'$  sont enroulés en hélice au sein de chaque toron externe  $TE$  à un pas  $p_1'$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p_1' \leq 15 \text{ mm}$ . Ici,  $p_1'=12 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\beta'$  de chaque fil interne  $F1'$  de la couche interne au sein de chaque toron externe  $TE$  va de  $4^\circ$  à  $20^\circ$ , ici  $\beta'=5,2^\circ$ . Les  $P'$  fils intermédiaires  $F2'$  sont assemblés au sein de chaque toron externe  $TE$  à un pas  $p_2'$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p_2' \leq 20 \text{ mm}$ . Ici  $p_2'=18 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\delta'$  de chaque fil intermédiaires  $F2'$  dans la couche intermédiaire  $C2'$  au sein de chaque toron externe  $TE$  va de  $8^\circ$  à  $22^\circ$ , ici  $\delta'=9,4^\circ$ . Les  $N'$  fils externes  $F3'$  sont assemblés au sein de chaque toron externe  $TE$  à un pas  $p_3'$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p_3' \leq 40 \text{ mm}$ . Ici  $p_3'=25 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma'$  de chaque fil externe  $F3'$  dans la couche externe  $C3'$  au sein de chaque toron externe  $TE$  va de  $9^\circ$  à  $25^\circ$ , ici  $\gamma'=11^\circ$ .

**[0475]** On notera que  $48^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 154^\circ$  et ici comme  $Q'>1$ ,  $61^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 154^\circ$ . En l'espèce, dans ce mode de réalisation du câble 165 à très bas module,  $65^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 153^\circ$  et ici comme  $Q'>1$ ,  $78^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 153^\circ$ . Dans le cas du câble 165,  $3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma'=85,9^\circ$ .

**[0476]** On notera que  $84^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 280^\circ$ . En l'espèce, comme  $Q=1$  et  $Q'>1$ ,  $88^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 254^\circ$ . Dans le mode de réalisation du câble 165 à très bas module,  $138^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 280^\circ$  et comme  $Q=1$  et  $Q'>1$ ,  $148^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 254^\circ$  et ici  $3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' +$

$\gamma' = 206,8^\circ$ .

**[0477]** On notera également que  $1,21 \leq EC/EI$ , de préférence  $1,21 \leq EC/EI \leq 3,00$  et ici  $EC/EI=1,44$ .

## 5 **[0478] CABLE SELON UN 14<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

**[0479]** On va maintenant décrire un câble 166 à moyen module selon un septième mode de réalisation de l'invention. Les éléments analogues à ceux des câbles précédemment décrits sont désignés par des références identiques.

**[0480]** Parmi les différences entre les câbles 160 et 166, on notera que l'angle d'hélice  $\alpha$  de chaque toron interne TI dans la couche interne CI du câble 166 va, dans le mode de réalisation du câble 166 à moyen module, de  $4^\circ$  à  $22^\circ$ , en l'espèce  $\alpha=17,9^\circ$ . L'angle d'hélice  $\alpha'$  de chaque toron externe TE dans la couche externe CE du câble 166 va, dans le mode de réalisation du câble 166 à moyen module de  $11^\circ$  à  $21^\circ$ , en l'espèce  $\alpha'=13,2^\circ$ .

**[0481]** On notera également que, dans le premier mode de réalisation du câble 166 à moyen module,  $25^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 97^\circ$ . Dans le cas du câble 166,  $3\alpha + \beta + \delta + \gamma=91^\circ$ .

**[0482]** On a également dans le cas du câble 166 à moyen module  $78 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ , de préférence,  $100 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ . La couche interne du câble 166 présentant un module relativement élevé,  $95 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$  et ici  $EI=96 \text{ GPa}$ .

**[0483]** On notera également que  $Q' > 1$ ,  $Q'=2, 3$  ou  $4$ ,  $P'=7, 8, 9$  ou  $10$ ,  $N'=13, 14$  ou  $15$  et ici  $Q'=3$ ,  $P'=8$  et  $N'=13$ . Les  $Q'$  fils internes  $F1'$  sont enroulés en hélice au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p1'$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p1' \leq 15 \text{ mm}$ . Ici,  $p1'=12 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\beta'$  de chaque fil interne  $F1'$  de la couche interne au sein de chaque toron externe TE va de  $4^\circ$  à  $20^\circ$ , ici  $\beta'=4,5^\circ$ . Les  $P'$  fils intermédiaires  $F2'$  sont assemblés au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p2'$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p2' \leq 20 \text{ mm}$ . Ici  $p2'=18 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\delta'$  de chaque fil intermédiaires  $F2'$  dans la couche intermédiaire  $C2'$  au sein de chaque toron externe TE va de  $8^\circ$  à  $22^\circ$ , ici  $\delta'=8,1^\circ$ . Les  $N'$  fils externes  $F3'$  sont assemblés au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p3'$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p3' \leq 40 \text{ mm}$ . Ici  $p3'=25 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma'$  de chaque fil externe  $F3'$  dans la couche externe  $C3'$  au sein de chaque toron externe TE va de  $9^\circ$  à  $25^\circ$ , ici  $\gamma'=9,6^\circ$ .

**[0484]** On notera également que, dans le cas du câble 166 à moyen module,  $48^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 89^\circ$  et ici comme  $Q' > 1$ ,  $61^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 89^\circ$  et ici  $3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma'=61,8^\circ$ .

**[0485]** On note que, dans le mode de réalisation du câble 166 à moyen module,  $84^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 161^\circ$  et comme  $Q=1$  et  $Q' > 1$ ,  $88^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 153^\circ$  et ici  $3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma'=152,8^\circ$ .

[0486] On a également  $1,21 \leq EC/EI$ , de préférence  $1,21 \leq EC/EI \leq 3,00$  et ici  $EC/EI=1,48$ .

[0487] On a également dans ce mode de réalisation du câble 166 à moyen module  $131 \text{ GPa} \leq EC \leq 160 \text{ GPa}$ . Ici  $EC=141 \text{ GPa}$ .

5 **[0488] CÂBLE SELON UN 15<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

[0489] On a représenté sur la figure 9 le câble 260 à bas module selon un quinzième mode de réalisation de l'invention.

10 [0490] Le câble 260 est métallique et est du type multi-torons à deux couches cylindriques. Ainsi, on comprend que les couches de torons constituant le câble 260 sont au nombre de deux, ni plus, ni moins. Les couches de torons sont adjacentes et concentriques. Le câble 260 est dépourvu de composition polymérique et de composition d'élastomère lorsqu'il n'est pas intégré au pneumatique.

15 [0491] Le câble 260 comprend une couche interne CI du câble 260 ainsi qu'une couche externe CE du câble 260. La couche interne CI est constituée de  $J > 1$  torons internes TI, c'est-à-dire plusieurs torons internes TI, enroulés en hélice. La couche externe CE est constituée de  $L > 1$  torons externes, c'est-à-dire plusieurs torons externes TE enroulé en hélice autour de la couche interne CI. En l'espèce,  $J=2, 3$  ou  $4$ , de préférence  $J=3$  ou  $4$ . De plus,  $L=7, 8, 9$  ou  $10$ , de préférence  $L=8, 9$  ou  $10$ . Avec  $J=3, L=7, 8$  ou  $9$  et en l'espèce et ici  $J=3, L=8$ .

20 [0492] Le câble 260 comprend également une frette F constituée d'un unique fil de frette.

[0493] La couche interne CI est enroulée en hélice selon un sens d'enroulement de la couche interne du câble, ici le sens S. Les torons internes TI sont enroulés en hélice selon un pas PI tel que  $10 \text{ mm} \leq PI \leq 65 \text{ mm}$  et de préférence  $10 \text{ mm} \leq PI \leq 45 \text{ mm}$ . Ici  $PI=20 \text{ mm}$ .

25 L'angle d'hélice  $\alpha$  de chaque toron interne TI dans la couche interne CI du câble 260 va de  $3^\circ$  à  $36^\circ$  et, dans le cas du câble 260 à bas module, de  $3^\circ$  à  $31^\circ$  et en l'espèce  $\alpha=13,6^\circ$ .

[0494] La couche externe CE est enroulée en hélice autour de la couche interne CI selon un sens d'enroulement de la couche externe du câble opposé au sens d'enroulement de la couche interne du câble, ici le sens Z. Les torons externes TE sont enroulés en hélice autour du toron interne TI selon un pas PE tel que  $30 \text{ mm} \leq PE \leq 65 \text{ mm}$  et de préférence  $30 \text{ mm} \leq$   
30  $PE \leq 60 \text{ mm}$ . Ici  $PE=40 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\alpha'$  de chaque toron externe TE dans la couche externe CE du câble 260 va de  $10^\circ$  à  $34^\circ$ , et, dans le cas du câble 260 à bas module, de  $10^\circ$  à  $31^\circ$  et en l'espèce  $\alpha'=19,1^\circ$ .

[0495] La frette F est enroulée autour de la couche externe CE selon un sens d'enroulement

de la frette, ici opposé au sens d'enroulement de la couche externe CE, en l'espèce dans le sens S. Le fil de frette est enroulé en hélice autour des torons externes TE selon un pas PF tel que  $2 \text{ mm} \leq \text{PF} \leq 10 \text{ mm}$  et de préférence  $3 \text{ mm} \leq \text{PF} \leq 8 \text{ mm}$ . Ici  $\text{pf}=5,1 \text{ mm}$ .

**[0496]** L'assemblage constitué par les couches interne CI et externe CE, c'est-à-dire le câble 260 sans la frette F, présente un diamètre D supérieur ou égal à 4 mm, de préférence supérieur ou égal à 4,5 mm et inférieur ou égal à 7 mm, de préférence inférieur ou égal à 6,5 mm. Ici,  $D=6,03 \text{ mm}$ .

**[0497]** La couche interne CI de torons internes TI présente un diamètre DI. Chaque toron externe TE présente un diamètre DE. En l'espèce,  $\text{DI}=2,87 \text{ mm}$ ,  $\text{DE}=1,58 \text{ mm}$ .

**[0498]** La couche externe CE du câble 260 est désaturée et incomplètement insaturée. La distance E inter-torons moyenne séparant deux torons externes TE adjacents est supérieure ou égale à  $30 \mu\text{m}$ . Ici, la distance E inter-torons moyenne séparant deux torons externes TE adjacents est telle que  $E=43 \mu\text{m}$ . La somme SIE des distances interfils E de la couche externe CE est inférieure au diamètre DE des torons externes de la couche externe CE. Ici, la somme  $\text{SIE}=8 \times 0,043=0,34 \text{ mm}$ , valeur strictement inférieure à  $\text{DE}=1,58 \text{ mm}$ .

**[0499]** Torons internes TI du câble 260

**[0500]** Chaque toron interne TI est à deux couches. Chaque toron interne TI comprend, ici est constitué, de deux couches, pas plus, pas moins.

**[0501]** Chaque toron interne TI comprend une couche interne C1 constituée de  $Q \geq 1$  fils internes F1 et une couche externe C2 constituée de  $N > 1$  fils externes F2 enroulés en hélice autour et au contact de la couche interne C1.

**[0502]**  $Q=2, 3$  ou 4, de préférence  $Q=3$  ou 4.  $N=7, 8, 9$  ou 10, de préférence  $N=8, 9$  ou 10. Avec  $Q=4$ ,  $N=7, 8$  ou 9 et en l'espèce  $Q=4$ ,  $N=9$ .

**[0503]** La couche interne C1 de chaque toron interne TI est enroulée en hélice selon un sens d'enroulement de couche interne C1 du toron interne TI identique au sens d'enroulement de la couche interne CI du câble, ici selon le sens S. Les Q fils internes F1 sont assemblés au sein de chaque toron interne TI à un pas  $p_1$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p_1 \leq 20 \text{ mm}$ . Ici  $p_1=7,7 \text{ mm}$ .

L'angle d'hélice  $\beta$  de chaque fil interne F1 dans la couche interne C1 au sein de chaque toron interne TI va de  $4^\circ$  à  $17^\circ$ , ici  $\beta=9,9^\circ$ .

**[0504]** La couche externe C2 de chaque toron interne TI est enroulée autour et au contact de la couche interne C1 selon un sens d'enroulement de couche externe C2 du toron interne TI identique au sens d'enroulement de la couche interne CI du câble, ici selon le sens S. Les

N fils externes F2 sont enroulés en hélice autour des Q fils internes F1 et sont assemblés au sein de chaque toron interne TI à un pas  $p_2$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p_2 \leq 40 \text{ mm}$ . Ici  $p_2=15,4 \text{ mm}$ .

L'angle d'hélice  $\gamma$  de chaque fil externe F2 dans la couche externe C2 au sein de chaque toron interne TI va de  $7^\circ$  à  $20^\circ$ , ici  $\gamma=11,8^\circ$ .

- 5 **[0505]** On a  $16^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 105^\circ$  et comme  $Q>1$ ,  $20^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 105^\circ$ . En l'espèce, dans le cas du câble 260 à bas module,  $16^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 86^\circ$  et comme  $Q>1$ ,  $19^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 85^\circ$  et ici  $2\alpha + \beta + \gamma=48,9^\circ$ .

- [0506]** Chaque fil interne F1 et externe F2 de chaque toron interne TI présente respectivement un diamètre D1, D2. Chaque diamètre des fils internes D1 et externes D2 de  
10 chaque toron interne TI va de 0,15 mm à 0,60 mm, de préférence de 0,20 mm à 0,50 mm, plus préférentiellement de 0,23 mm à 0,45 mm et encore plus préférentiellement de 0,25 mm à 0,40 mm. Chaque fil interne F1 de chaque toron interne TI présente un diamètre D1 supérieur ou égal, ici égal, au diamètre D2 de chaque fil externe F2 de chaque toron interne TI. En l'espèce,  $D1=D2=0,30 \text{ mm}$ .

- 15 **[0507]** Du fait du pas  $p_2$  relativement court, la couche externe C2 de chaque toron interne TI est désaturée et complètement insaturée. La distance interfils I2 de la couche externe C2 séparant en moyenne les N fils externes est supérieure ou égale à  $5 \text{ }\mu\text{m}$ . La distance interfils I2 est de préférence supérieure ou égale à  $15 \text{ }\mu\text{m}$ , plus préférentiellement supérieure ou égale à  $35 \text{ }\mu\text{m}$  et ici égale à  $46 \text{ }\mu\text{m}$ . La somme SI2 des distances interfils I2 de la couche  
20 externe C2 est supérieure au diamètre d2 des fils externes F2 de la couche externe C2. Ici, la somme  $SI2=9 \times 0,046=0,41 \text{ mm}$ , valeur strictement supérieure à  $D2=0,30 \text{ mm}$ .

**[0508]** On a également  $25 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ , de préférence  $36 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$  et dans le cas du câble 260 à bas module qui présente une couche interne présentant un module relativement élevé,  $95 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ . En l'espèce,  $EI=148 \text{ GPa}$ .

25

**[0509]** Torons externes TE du câble 260

**[0510]** Chaque toron externe TE est à trois couches. Ainsi, chaque toron externe TE comprend, ici est constitué, de trois couches, pas plus, pas moins.

- [0511]** Chaque toron externe TE comprend une couche interne C1' constituée de  $Q' \geq 1$  fils  
30 internes F1', une couche intermédiaire C2' constituée de  $P' > 1$  fils intermédiaires F2' enroulée en hélice autour et au contact de la couche interne C1' et une couche externe C3' constituée de  $N' > 1$  fils externes F3' enroulés en hélice autour et au contact de la couche intermédiaire C2'.

**[0512]**  $Q'=1$ ,  $P'=5$  ou  $6$  et  $N'=10$ ,  $11$  ou  $12$ , de préférence  $Q'=1$ ,  $P'=5$  ou  $6$ ,  $N'=10$  ou  $11$  et plus préférentiellement ici  $Q'=1$ ,  $P'=6$  et  $N'=11$ .

**[0513]** Dans le cas où  $Q'>1$ , la couche interne  $C1'$  de chaque toron externe TE est enroulée en hélice selon un sens d'enroulement de couche interne  $C1'$  du toron externe TE, le sens d'enroulement de couche interne  $C1'$  du toron externe TE est identique au sens d'enroulement de la couche externe CE du câble, ici selon le sens Z. Ici, le  $Q'=1$  fil interne  $F1'$  est assemblé au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p1'$  infini de sorte que  $\beta'=0$ .

**[0514]** La couche intermédiaire  $C2'$  d'e chaque toron externe TE est enroulée autour et au contact de la couche interne  $C1'$  selon un sens d'enroulement de couche intermédiaire  $C2'$  du toron externe TE identique au sens d'enroulement de la couche externe CE du câble, ici selon le sens Z. Les  $P'$  fils intermédiaires  $F2'$  sont enroulés en hélice autour du  $Q'=1$  fil interne  $F1'$  et sont assemblés au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p2'$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p2' \leq 20 \text{ mm}$ . Ici  $p2'=7,7 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\delta'$  de chaque fil intermédiaires  $F2'$  dans la couche intermédiaire  $C2'$  au sein de chaque toron externe TE va de  $6^\circ$  à  $22^\circ$ , ici  $\delta'=15,5^\circ$ .

**[0515]** La couche externe  $C3'$  d'e chaque toron externe TE est enroulée autour et au contact de la couche intermédiaire  $C2'$  selon un sens d'enroulement de couche externe  $C3'$  du toron externe TE identique au sens d'enroulement de la couche externe CE du câble, ici selon le sens Z. Les  $N'$  fils externes  $F3'$  sont enroulés en hélice autour des  $P'$  fils intermédiaires  $F2'$  et sont assemblés au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p3'$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p3' \leq 40 \text{ mm}$ . Ici  $p3'=15,4 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma'$  de chaque fil externe  $F3'$  dans la couche externe  $C3'$  au sein de chaque toron externe TE va de  $7^\circ$  à  $22^\circ$ , ici  $\gamma'=14,6^\circ$ .

**[0516]** On a  $47^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 147^\circ$  et dans le cas du câble 260 à bas module  $54^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 125^\circ$  et comme  $Q'=1$ ,  $54^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 120^\circ$ . En l'espèce,  $3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma'=87,4^\circ$ .

**[0517]** Chaque fil interne  $F1'$ , intermédiaire  $F2'$  et externe  $F3'$  de chaque toron externe TE présente respectivement un diamètre  $D1'$ ,  $D2'$ ,  $D3'$ . Chaque diamètre des fils internes  $D1'$ , intermédiaires  $D2'$  et externes  $D3'$  de chaque toron externe TE va de  $0,15 \text{ mm}$  à  $0,60 \text{ mm}$ , de préférence de  $0,20 \text{ mm}$  à  $0,50 \text{ mm}$ , plus préférentiellement de  $0,23 \text{ mm}$  à  $0,45 \text{ mm}$  et encore plus préférentiellement de  $0,25 \text{ mm}$  à  $0,40 \text{ mm}$ . Chaque  $Q'$  fil interne  $F1'$  de chaque toron externe  $Ti'$  présente un diamètre  $D1'$  supérieur ou égal au diamètre  $D2'$  de chaque fil

intermédiaire F2' de chaque toron externe TE. Chaque Q' fil interne F1' de chaque toron externe TE présente un diamètre D1' supérieur ou égal au diamètre D3' de chaque fil externe F3' de chaque toron externe TE. Chaque N' fil intermédiaire F2' de chaque toron externe TE présente un diamètre D2' égal au diamètre D3' de chaque fil externe F3' de chaque toron externe TE. En l'espèce,  $D1'=0.38 \text{ mm} > D2'=D3'=0,30 \text{ mm}$ .

**[0518]** La couche intermédiaire C2' de chaque toron externe TE est désaturée et incomplètement insaturée. La distance interfils I2' de la couche intermédiaire C2' séparant en moyenne les P' fils intermédiaires est supérieure ou égale à 5  $\mu\text{m}$ . La distance interfils I2' est de préférence supérieure ou égale à 15  $\mu\text{m}$  et ici égale à 32  $\mu\text{m}$ . La somme SI2' des distances interfils I2' de la couche intermédiaire C2' est supérieure au diamètre D2 des fils intermédiaires F2' de la couche intermédiaire C2'. Ici, la somme  $SI2'=6 \times 0,032=0,19 \text{ mm}$ , valeur strictement inférieure à  $D2'=0,30 \text{ mm}$ . De plus, la somme SI2' des distances interfils I2' est telle que  $SI2' < D3'$  et même  $SI2' < 0.8 \times D3'$ .

**[0519]** La couche externe C3' de chaque toron externe TE est désaturée et complètement insaturée. La distance interfils I3' de la couche externe C3' séparant en moyenne les N' fils externes est supérieure ou égale à 5  $\mu\text{m}$ . La distance interfils I3' est de préférence supérieure ou égale à 15  $\mu\text{m}$ , plus préférentiellement supérieure ou égale à 35  $\mu\text{m}$ , encore plus préférentiellement supérieure ou égale à 50  $\mu\text{m}$  et ici égale à 52  $\mu\text{m}$ . La somme SI3' des distances interfils I3' de la couche externe C3' est supérieure au diamètre D3' des fils externes F3' de la couche externe C3'. Ici, la somme  $SI3'=11 \times 0,052=0,57 \text{ mm}$ , valeur strictement supérieure à  $D3'=0,30 \text{ mm}$ .

**[0520]** Chaque fil F1, F2, F1', F2', F3' présente une résistance à la rupture, notée Rm, telle que  $2500 \leq Rm \leq 3100 \text{ MPa}$ . On dit de l'acier de ces fils qu'il est de grade SHT (« Super High Tensile »). D'autres fils peuvent être utilisés, par exemple des fils de grade inférieur, par exemple de grade NT (« Normal Tensile ») ou HT (« High Tensile »), comme des fils de grade supérieur, par exemple de grade UT (« Ultra Tensile ») ou MT (« Mega Tensile »).

**[0521]** On a  $84^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 226^\circ$  et comme  $Q>1$  et  $Q'=1$ ,  $88^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 206^\circ$ . Dans le cas du câble 260 à bas module, on a  $87^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 172^\circ$  et comme  $Q>1$  et  $Q'=1$ ,  $90^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 165^\circ$ . En l'espèce  $2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma'=136,3^\circ$ .

**[0522]** On a  $0,60 \leq EC/EI \leq 1,20$  et ici  $EC/EI=0,69$ .

**[0523]** On a également  $50 \text{ GPa} \leq EC \leq 160 \text{ GPa}$  et dans ce mode de réalisation  $90 \text{ GPa} \leq EC \leq 130 \text{ GPa}$ . Ici  $EC=102 \text{ GPa}$ .

**[0524] CABLE SELON UN 16<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

**[0525]** On va maintenant décrire un câble 261 à bas module selon un deuxième mode de réalisation de l'invention. Les éléments analogues à ceux du câble 260 sont désignés par des références identiques.

**[0526]** Parmi les différences entre les câbles 260 et 261, on notera que  $Q=1$ ,  $N=5$  ou  $6$  et ici  $Q=1$ ,  $N=6$ .

**[0527]** On notera également que les  $N$  fils externes  $F2$  sont enroulés en hélice autour du  $Q=1$  fil interne  $F1$  et sont assemblés au sein de chaque toron interne  $TI$  à un pas  $p2$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p2 \leq 30 \text{ mm}$ . Ici  $p2=7,7 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma$  de chaque fil externe  $F2$  dans la couche externe  $C2$  au sein de chaque toron interne  $TI$  va de  $5^\circ$  à  $26^\circ$ , ici  $\gamma=12,9^\circ$ .

**[0528]** On notera également que  $16^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 105^\circ$  et comme  $Q=1$ ,  $16^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 86^\circ$  et ici  $2\alpha + \beta + \gamma=26,5^\circ$ .

**[0529]** On notera que, comme  $Q=1$  et  $Q'=1$ ,  $84^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 199^\circ$ . Dans le cas du câble 261 à bas module, avec  $Q=1$  et  $Q'=1$ , on a  $87^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 160^\circ$ . En l'espèce  $2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma'=136,3^\circ$ .

**[0530]** On notera que  $EC/EI \leq 0,59$  et de préférence  $0,40 \leq EC/EI \leq 0,59$  et ici  $EC/EI=0,56$ .

**[0531] CABLE SELON UN 17<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

**[0532]** On va maintenant décrire un câble 262 à bas module selon un troisième mode de réalisation de l'invention. Les éléments analogues à ceux des câbles précédemment décrits sont désignés par des références identiques.

**[0533]** Parmi les différences entre les câbles 260 et 262, on notera que, la couche interne du câble 262 à bas module présentant un module relativement faible,  $25 \text{ GPa} \leq EI \leq 94 \text{ GPa}$ ,

de préférence  $64 \text{ GPa} \leq EI \leq 94 \text{ GPa}$ . En l'espèce,  $EI=71 \text{ GPa}$ .

**[0534]** On notera que  $1,21 \leq EC/EI$  et de préférence  $1,21 \leq EC/EI \leq 3,00$  et dans le cas du câble 262 à bas module  $1,21 \leq EC/EI \leq 2,82$  et ici  $EC/EI=1,33$ .

**[0535] CABLE SELON UN 18<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

**[0536]** On va maintenant décrire un câble 263 à très bas module selon un quatrième mode de réalisation de l'invention. Les éléments analogues à ceux des câbles précédemment décrits sont désignés par des références identiques.

**[0537]** Parmi les différences entre les câbles 260 et 263, on notera que l'angle d'hélice  $\alpha$  de

chaque toron interne TI dans la couche interne CI du câble 263 va, dans le cas du câble 263 à très bas module, de  $5^\circ$  à  $36^\circ$  et en l'espèce  $\alpha=10^\circ$ . On notera également que l'angle d'hélice  $\alpha'$  de chaque toron externe TE dans la couche externe CE du câble 263 va, dans le cas du câble 263 à très bas module, de  $14^\circ$  à  $34^\circ$  et en l'espèce  $\alpha'=14,5^\circ$ .

5 **[0538]** On notera également, dans le cas du câble 263 à très bas module,  $20^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 105^\circ$  et comme  $Q>1$ ,  $27^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 105^\circ$  et ici  $2\alpha + \beta + \gamma=53,6^\circ$ .

**[0539]** On notera que, dans le cas du câble 263 à très bas module,  $25 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ , de préférence  $36 \text{ GPa} \leq EI \leq 175 \text{ GPa}$ . Dans le cas du câble 263 présentant une couche interne présentant un module relativement élevé,  $95 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ , de préférence  $95$   
10  $\text{GPa} \leq EI \leq 175 \text{ GPa}$ . En l'espèce,  $EI=130 \text{ GPa}$ .

**[0540]** On notera que, dans le cas du câble 263 à très bas module et comme  $Q'=1$ ,  $66^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 147^\circ$ . En l'espèce,  $3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma'=93,5^\circ$ .

**[0541]** On notera également que dans le cas du câble 263 à très bas module,  $146^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 226^\circ$  et comme  $Q>1$  et  $Q'=1$ ,  $130^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq$   
15  $206^\circ$ . En l'espèce  $2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma'=147,1^\circ$ .

**[0542]** On a, dans le cas du câble 263 à très bas module,  $0,60 \leq EC/EI \leq 1,20$  et ici  $EC/EI=0,64$ .

**[0543]** On notera également que, dans ce mode de réalisation du câble 263 à très bas module,  $50 \text{ GPa} \leq EC \leq 89 \text{ GPa}$ . Ici  $EC=84 \text{ GPa}$ .

20

#### **[0544] CÂBLE SELON UN 19<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

**[0545]** On va maintenant décrire un câble 264 à très bas module selon un cinquième mode de réalisation de l'invention. Les éléments analogues à ceux des câbles précédemment décrits sont désignés par des références identiques.

25 **[0546]** Parmi les différences entre les câbles 263 et 264, on notera que, dans le cas du câble 264 à très bas module présentant une couche interne présentant un module relativement faible,  $25 \text{ GPa} \leq EI \leq 94 \text{ GPa}$ , de préférence  $36 \text{ GPa} \leq EI \leq 94 \text{ GPa}$ . En l'espèce,  $EI=42 \text{ GPa}$ .

**[0547]** On notera que  $Q'>1$ , et ici  $Q'=2, 3$  ou  $4$ ,  $P'=7, 8, 9$  ou  $10$ ,  $N'=13, 14$  ou  $15$  et ici  $Q'=3$ ,  
30  $P'=8$  et  $N'=13$ .

[0548] On notera que les Q' fils internes F1' sont enroulés en hélice au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p1'$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p1' \leq 15 \text{ mm}$ . Ici,  $p1'=12 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\beta'$  de chaque fil interne F1' de la couche interne au sein de chaque toron externe TE va de  $4^\circ$  à  $20^\circ$ , ici  $\beta'=6^\circ$ . Les P' fils intermédiaires F2' sont assemblés au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p2'$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p2' \leq 20 \text{ mm}$ . Ici  $p2'=18 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\delta'$  de chaque fil intermédiaires F2' dans la couche intermédiaire C2' au sein de chaque toron externe TE va de  $8^\circ$  à  $22^\circ$ , ici  $\delta'=10,9^\circ$ . Les N' fils externes F3' sont assemblés au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p3'$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p3' \leq 40 \text{ mm}$ . Ici  $p3'=25 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma'$  de chaque fil externe F3' dans la couche externe C3' au sein de chaque toron externe TE va de  $9^\circ$  à  $25^\circ$ , ici  $\gamma'=12,8^\circ$ .

[0549] On notera également que, dans le cas du câble 264 à très bas module et comme  $Q' > 1$ ,  $75^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 140^\circ$ . En l'espèce,  $3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' = 95,7^\circ$ .

[0550] On notera que, dans le cas du câble 264 à très bas module et comme  $Q > 1$  et  $Q' > 1$ , on a  $146^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 226^\circ$ . En l'espèce  $2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' = 188,9^\circ$ .

[0551] On notera que, dans le cas du câble 264 à très bas module,  $1,21 \leq EC/EI$  et de préférence  $1,21 \leq EC/EI \leq 3,00$  et ici  $EC/EI = 1,72$ .

#### [0552] CÂBLE SELON UN 20<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION

[0553] On va maintenant décrire un câble 265 à moyen module selon un sixième mode de réalisation de l'invention. Les éléments analogues à ceux des câbles précédemment décrits sont désignés par des références identiques.

[0554] Parmi les différences entre les câbles 260 et 265, on notera que l'angle d'hélice  $\alpha$  de chaque toron interne TI dans la couche interne CI du câble 265 à moyen module va de  $3^\circ$  à  $20^\circ$  et en l'espèce  $\alpha = 6,8^\circ$ . On notera également que l'angle d'hélice  $\alpha'$  de chaque toron externe TE dans la couche externe CE du câble 265 à moyen module va de  $10^\circ$  à  $22^\circ$  et en l'espèce  $\alpha' = 15,3^\circ$ .

[0555] On notera également que  $Q=1$ ,  $N=5$  ou  $6$  et ici  $Q=1$ ,  $N=6$ . Les N fils externes F2 sont enroulés en hélice autour du Q=1 fil internes F1 et sont assemblés au sein de chaque toron interne TI à un pas  $p2$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p2 \leq 30 \text{ mm}$ . Ici  $p2=5 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma$  de chaque fil externe F2 dans la couche externe C2 au sein de chaque toron interne TI va de  $5^\circ$

à  $26^\circ$ , ici  $\gamma=19,4^\circ$ .

**[0556]** On notera que, dans le cas du câble 265 à moyen module, on a  $16^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 68^\circ$  et comme  $Q=1$ ,  $16^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 56^\circ$  et ici  $2\alpha + \beta + \gamma=33^\circ$ .

**[0557]** On notera également que, dans le cas du câble 265 à moyen module,  $78 \text{ GPa} \leq EI \leq$

5  $180 \text{ GPa}$ , de préférence  $100 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$  et dans le cas du câble 265 comprenant une couche interne présentant un module relativement élevé  $95 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$  et, en l'espèce,  $EI=165 \text{ GPa}$ .

**[0558]** On notera que, dans le cas du câble 265 à moyen module,  $47^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 89^\circ$  et comme  $Q'=1$ ,  $47^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 86^\circ$ . En l'espèce,  $3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma'=71,4^\circ$ .

10 **[0559]** On notera que, dans le cas du câble 265 à moyen module,  $84^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 136^\circ$  et comme  $Q=1$  et  $Q'=1$ ,  $84^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 112^\circ$ . En l'espèce  $2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma'=104,2^\circ$ .

**[0560]** On notera également que, dans le cas du câble 265 à moyen module, dans le cas du câble 265 à moyen module,  $0,60 \leq EC/EI \leq 1,20$ , de préférence  $0,80 \leq EC/EI \leq 1,15$  et ici

15  $EC/EI=0,90$ .

**[0561]** On a également  $50 \text{ GPa} \leq EC \leq 160 \text{ GPa}$  et dans le mode de réalisation du câble 265 à moyen module,  $131 \text{ GPa} \leq EC \leq 160 \text{ GPa}$ . Ici  $EC=148 \text{ GPa}$ .

#### **[0562] CÂBLE SELON UN 21<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

20 **[0563]** On va maintenant décrire un câble 266 à moyen module selon un septième mode de réalisation de l'invention. Les éléments analogues à ceux des câbles précédemment décrits sont désignés par des références identiques.

**[0564]** Parmi les différences entre les câbles 265 et 266, on notera que  $Q=2, 3$  ou  $4$ , de préférence  $Q=3$  ou  $4$ .  $N=7, 8, 9$  ou  $10$ . Avec  $Q=3$  et  $N=7, 8$  ou  $9$  et ici  $Q=3, N=8$ .

25 **[001]** On notera que les  $Q$  fils internes  $F1$  sont assemblés au sein de chaque toron interne  $TI$  à un pas  $p1$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p1 \leq 20 \text{ mm}$ . Ici  $p1=12 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\beta$  de chaque fil interne  $F1$  dans la couche interne  $C1$  au sein de chaque toron interne  $TI$  va de  $4^\circ$  à  $17^\circ$ , ici  $\beta=6^\circ$ . Les  $N$  fils externes  $F2$  sont enroulés en hélice autour des  $Q$  fils internes  $F1$  et sont assemblés au sein de chaque toron interne  $TI$  à un pas  $p2$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p2 \leq 40 \text{ mm}$ . Ici

30  $p2=18 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma$  de chaque fil externe  $F2$  dans la couche externe  $C2$  au sein de chaque toron interne  $TI$  va de  $7^\circ$  à  $20^\circ$ , ici  $\gamma=10,9^\circ$ .

**[0565]** On notera que, dans le cas du câble 266 à moyen module, comme  $Q>1$ ,  $20^\circ \leq 2\alpha + \beta + \gamma \leq 68^\circ$  et ici  $2\alpha + \beta + \gamma=26,9^\circ$ .

**[0566]** On notera également que  $Q'>1$ , et ici  $Q'=2, 3$  ou  $4$ ,  $P'=7, 8, 9$  ou  $10$ ,  $N'=13, 14$  ou  $15$

et ici  $Q'=3$ ,  $P'=8$  et  $N'=13$ .

**[0567]** On notera que les  $Q'$  fils internes  $F1'$  sont enroulés en hélice au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p1'$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p1' \leq 15 \text{ mm}$ . Ici,  $p1'=12 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\beta'$  de chaque fil interne  $F1'$  de la couche interne au sein de chaque toron externe TE va de  $4^\circ$  à  $20^\circ$ , ici  $\beta'=4,5^\circ$ . Les  $P'$  fils intermédiaires  $F2'$  sont assemblés au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p2'$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p2' \leq 20 \text{ mm}$ . Ici  $p2'=18 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\delta'$  de chaque fil intermédiaires  $F2'$  dans la couche intermédiaire  $C2'$  au sein de chaque toron externe TE va de  $8^\circ$  à  $22^\circ$ , ici  $\delta'=8,1^\circ$ . Les  $N'$  fils externes  $F3'$  sont assemblés au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p3'$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p3' \leq 40 \text{ mm}$ . Ici  $p3'=25 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma'$  de chaque fil externe  $F3'$  dans la couche externe  $C3'$  au sein de chaque toron externe TE va de  $9^\circ$  à  $25^\circ$ , ici  $\gamma'=9,6^\circ$ .

**[0568]** On notera que, dans le cas du câble 266 à moyen module et comme  $Q'>1$ ,  $62^\circ \leq 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma' \leq 89^\circ$  et ici  $3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma'=77,1^\circ$ .

## **[0569] CÂBLE SELON UN 22<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

**[0570]** On a représenté sur la figure 10 le câble 360 selon un sixième mode de réalisation de l'invention.

**[0571]** Le câble 360 est métallique et est du type multi-torons à deux couches cylindriques. Ainsi, on comprend que les couches de torons constituant le câble 360 sont au nombre de deux, ni plus, ni moins. Les couches de torons sont adjacentes et concentriques. Le câble 360 est dépourvu de composition polymérique et de composition d'élastomère lorsqu'il n'est pas intégré au pneumatique.

**[0572]** Le câble 360 comprend une couche interne CI du câble 360 ainsi qu'une couche externe CE du câble 360. La couche interne CI est constituée de  $J>1$  torons internes TI, c'est-à-dire plusieurs torons internes TI, enroulés en hélice. La couche externe CE est constituée de  $L>1$  torons externes, c'est-à-dire plusieurs torons externes TE enroulés en hélice autour de la couche interne CI. En l'espèce,  $J=2, 3$  ou  $4$ , de préférence  $J=3$  ou  $4$ . De plus,  $L=7, 8, 9$  ou  $10$ , de préférence  $L=8, 9$  ou  $10$ . Avec  $J=3$ ,  $L=7, 8$  ou  $9$  et en l'espèce et ici  $J=3$ ,  $L=8$ .

**[0573]** Le câble 360 comprend également une frette F constituée d'un unique fil de frette.

**[0574]** La couche interne CI est enroulée en hélice selon un sens d'enroulement de la couche interne du câble, ici le sens S. Les torons internes TI sont enroulés en hélice selon un pas  $PI$  tel que  $10 \text{ mm} \leq PI \leq 65 \text{ mm}$  et de préférence  $10 \text{ mm} \leq PI \leq 45 \text{ mm}$ . Ici  $PI=20 \text{ mm}$ .

L'angle d'hélice  $\alpha$  de chaque toron interne TI dans la couche interne CI du câble 360 va de  $4^\circ$  à  $36^\circ$  et dans le mode de réalisation du câble 360 à bas module de  $4^\circ$  à  $27^\circ$  et en l'espèce  $\alpha=13,4^\circ$ .

**[0575]** La couche externe CE est enroulée en hélice autour de la couche interne CI selon un sens d'enroulement de la couche externe du câble opposé au sens d'enroulement de la couche interne du câble, ici le sens Z. Les torons externes TE sont enroulés en hélice autour du toron interne TI selon un pas PE tel que  $30 \text{ mm} \leq \text{PE} \leq 65 \text{ mm}$  et de préférence  $30 \text{ mm} \leq$

5  $\text{PE} \leq 60 \text{ mm}$ . Ici  $\text{PE}=40 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\alpha'$  de chaque toron externe TE dans la couche externe CE du câble 360 va de  $10^\circ$  à  $32^\circ$  et dans le mode de réalisation du câble 360 à bas module de  $11^\circ$  à  $31^\circ$  et en l'espèce  $\alpha'=18,6^\circ$ .

**[0576]** La frette F est enroulée autour de la couche externe CE selon un sens d'enroulement de la frette, ici opposé au sens d'enroulement de la couche externe CE, en l'espèce dans le  
10 sens S. Le fil de frette est enroulé en hélice autour des torons externes TE selon un pas PF tel que  $2 \text{ mm} \leq \text{PF} \leq 10 \text{ mm}$  et de préférence  $3 \text{ mm} \leq \text{PF} \leq 8 \text{ mm}$ . Ici  $\text{pf}=5,1 \text{ mm}$ .

**[0577]** L'assemblage constitué par les couches interne CI et externe CE, c'est-à-dire le câble 360 sans la frette F, présente un diamètre D supérieur ou égal à  $4 \text{ mm}$ , de préférence supérieur ou égal à  $4,5 \text{ mm}$  et inférieur ou égal à  $7 \text{ mm}$ , de préférence inférieur ou égal à  $6,5$   
15  $\text{mm}$ . Ici,  $D=5,7 \text{ mm}$ .

**[0578]** La couche interne CI de torons internes TI présente un diamètre DI. Chaque toron externe TE présente un diamètre DE. En l'espèce,  $\text{DI}=2,83 \text{ mm}$ ,  $\text{DE}=1,46 \text{ mm}$ .

**[0579]** La couche externe CE du câble 360 est désaturée et incomplètement insaturée. La distance E inter-torons moyenne séparant deux torons externes TE adjacents est supérieure  
20 ou égale à  $30 \mu\text{m}$ , de préférence supérieure ou égale à  $70 \mu\text{m}$  et plus préférentiellement supérieure ou égale à  $100 \mu\text{m}$ . Ici, la distance E inter-torons moyenne séparant deux torons externes TE adjacents est telle que  $E=117 \mu\text{m}$ . La somme SIE des distances interfils E de la couche externe CE est inférieure au diamètre DE des torons externes de la couche externe CE. Ici, la somme  $\text{SIE}=8 \times 0,117=0,94 \text{ mm}$ , valeur strictement inférieure à  $\text{DE}=1,46 \text{ mm}$ .

25 **[0580]** Torons internes TI du câble 360

**[0581]** Chaque toron interne TI est à trois couches. Chaque toron interne TI comprend, ici est constitué, de trois couches, pas plus, pas moins.

**[0582]** Chaque toron interne TI comprend une couche interne C1 constituée de  $Q \geq 1$  fils  
30 internes F1, une couche intermédiaire C2 constituée de  $P > 1$  fils intermédiaires F2 enroulés en hélice autour et au contact de la couche interne C1 et une couche externe C3 constituée de  $N > 1$  fils externes F3 enroulés en hélice autour et au contact de la couche intermédiaire C2.

**[0583]**  $Q=1$ ,  $P=5$  ou  $6$  et  $N=10$ ,  $11$  ou  $12$ , de préférence  $Q=1$ ,  $P=5$  ou  $6$ ,  $N=10$  ou  $11$  et plus préférentiellement ici  $Q=1$ ,  $P=6$  et  $N=11$ .

**[0584]** Dans le cas où  $Q>1$ , la couche interne  $C1$  de chaque toron interne  $TI$  est enroulée en hélice selon un sens d'enroulement de couche interne  $C1$  du toron interne  $TI$  identique au sens d'enroulement de la couche interne  $CI$  du câble, ici selon le sens  $S$ . Ici, Le  $Q=1$  fil interne  $F1$  est assemblé au sein de chaque toron interne  $TI$  selon un pas infini de sorte que  $\beta=0$ .

**[0585]** La couche intermédiaire  $C2$  de chaque toron interne  $TI$  est enroulée autour et au contact de la couche interne  $C1$  selon un sens d'enroulement de couche intermédiaire  $C2$  du

toron interne  $TI$  identique au sens d'enroulement de la couche interne  $CI$  du câble, ici selon le sens  $S$ . Les  $P$  fils intermédiaires  $F2$  sont enroulés en hélice autour du  $Q=1$  fil interne  $F1$  et sont assemblés au sein de chaque toron interne  $TI$  à un pas  $p2$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p2 \leq 20 \text{ mm}$ . Ici  $p2=7,7 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\delta$  de chaque fil intermédiaire  $F2$  dans la couche intermédiaire  $C2$  au sein de chaque toron interne  $TI$  va de  $6^\circ$  à  $30^\circ$ , ici  $\delta=12,2^\circ$ .

**[0586]** La couche externe  $C3$  de chaque toron interne  $TI$  est enroulée autour et au contact de la couche intermédiaire  $C2$  selon un sens d'enroulement de couche externe  $C3$  du toron interne  $TI$  identique au sens d'enroulement de la couche interne  $CI$  du câble, ici selon le sens  $S$ . Les  $N$  fils externes  $F3$  sont enroulés en hélice autour des  $P$  fils intermédiaires  $F2$  et sont assemblés au sein de chaque toron interne  $TI$  à un pas  $p3$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p3 \leq 40 \text{ mm}$ . Ici  $p3=15,4 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma$  de chaque fil externe  $F3$  dans la couche externe  $C3$  au sein de chaque toron interne  $TI$  va de  $7^\circ$  à  $30^\circ$ , ici  $\gamma=12,1^\circ$ .

**[0587]** On a  $26^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 162^\circ$  et ici comme  $Q=1$ ,  $26^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 140^\circ$ . En l'espèce, dans ce premier mode de réalisation du câble 360 à bas module,  $26^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 128^\circ$  et ici comme  $Q=1$ ,  $26^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 113^\circ$ . Dans le cas du câble 360,  $3\alpha + \beta + \delta + \gamma=64,5^\circ$ .

**[0588]** Chaque fil interne  $F1$ , intermédiaire  $F2$  et externe  $F3$  de chaque toron interne  $TI$  présente respectivement un diamètre  $D1$ ,  $D2$ ,  $D3$ . Chaque diamètre des fils internes  $D1$ , intermédiaire  $D2$  et externes  $D3$  de chaque toron interne  $TI$  va de  $0,15 \text{ mm}$  à  $0,60 \text{ mm}$ , de préférence de  $0,20 \text{ mm}$  à  $0,50 \text{ mm}$ , plus préférentiellement de  $0,23 \text{ mm}$  à  $0,45 \text{ mm}$  et encore plus préférentiellement de  $0,25 \text{ mm}$  à  $0,40 \text{ mm}$ . Chaque fil interne  $F1$  de chaque toron interne  $TI$  présente un diamètre  $D1$  supérieur ou égal, ici égal au diamètre  $D2$  de chaque fil intermédiaire  $F2$  de chaque toron interne  $TI$ . Chaque fil interne  $F1$  de chaque toron interne  $TI$

présente un diamètre D1 supérieur ou égal, ici égal, au diamètre D3 de chaque fil externe F3 de chaque toron interne TI. Chaque fil intermédiaire F2 de chaque toron interne TI présente un diamètre D2 égal au diamètre D3 de chaque fil externe F3 de chaque toron interne TI. En l'espèce,  $D1=D2=D3=0,26$  mm.

- 5 **[0589]** La couche intermédiaire C2 de chaque toron interne TI est saturée. Ici la distance I2 est environ égale à 0.

**[0590]** La couche externe C3 de chaque toron interne TI est désaturée et complètement insaturée. La distance interfils I3 de la couche externe C3 séparant en moyenne les N fils externes est supérieure ou égale à 5  $\mu$ m. La distance interfils I3 est de préférence supérieure ou égale à 15  $\mu$ m et ici égale à 30  $\mu$ m. La somme S13 des distances interfils I3 de la couche externe C3 est supérieure au diamètre D3 des fils externes F3 de la couche externe C3. Ici, la somme  $S13=11 \times 0,030=0,33$  mm, valeur strictement supérieure à  $D2=0,26$  mm.

**[0591]** On a également  $25 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ , de préférence  $36 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ .

- 15 Dans le cas du câble 360 à bas module,  $25 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ , de préférence  $36 \text{ GPa} \leq EI \leq 175 \text{ GPa}$ . Ici, la couche interne présente un module relativement élevé, on a  $95 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ . En l'espèce,  $EI=147 \text{ GPa}$ .

**[0592]** Torons externes TE du câble 360

- 20 **[0593]** Chaque toron externe TE est à deux couches. Ainsi, chaque toron externe TE comprend, ici est constitué, de deux couches, pas plus, pas moins.

**[0594]** Chaque toron externe TE comprend une couche interne C1' constituée de  $Q' \geq 1$  fils internes F1' et une couche externe C2' constituée de  $N' > 1$  fils externes F2' enroulés en hélice autour et au contact de la couche interne C1'.

- 25 **[0595]**  $Q'=2, 3$  ou 4, de préférence  $Q'=3$  ou 4.  $N'=7, 8, 9$  ou 10, de préférence  $N'=8, 9$  ou 10. Avec  $Q'=3$ ,  $N'=7, 8$  ou 9 et en l'espèce  $Q'=3$ ,  $N'=8$ .

**[0596]** La couche interne C1' de chaque toron externe TE est enroulée en hélice selon un sens d'enroulement de couche interne C1' du toron externe TE identique au sens d'enroulement de la couche externe CE du câble, ici selon le sens Z. Les  $Q'$  fils internes F1' sont assemblés au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p1'$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p1' \leq 20$  mm. Ici  $p1'=7,7$  mm. L'angle d'hélice  $\beta'$  de chaque fil interne F1' dans la couche interne C1' au sein de chaque toron externe TE va de  $4^\circ$  à  $17^\circ$ , ici  $\beta'=9,4^\circ$ .

- 30

**[0597]** La couche externe C2' de chaque toron externe TE est enroulée autour et au contact de la couche interne C1' selon un sens d'enroulement de couche externe C2' du toron externe TE identique au sens d'enroulement de la couche externes CE du câble, ici selon le sens Z. Les N' fils externes F2' sont enroulés en hélice autour des Q' fils internes F1' et sont

5 assemblés au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p_2'$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p_2' \leq 40 \text{ mm}$ . Ici  $p_2'=15,4 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma'$  de chaque fil externe F2' dans la couche externe C2' au sein de chaque toron externe TE va de  $7^\circ$  à  $20^\circ$ , ici  $\gamma'=12,7^\circ$ .

**[0598]** On a  $28^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 96^\circ$  et ici comme  $Q' > 1$ ,  $34^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 96^\circ$ . En l'espèce, dans ce premier mode de réalisation du câble 360 à bas module,  $28^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma'$

10  $\leq 89^\circ$  et ici comme  $Q'=1$ ,  $36^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 89^\circ$ . Dans le cas du câble 360,  $2\alpha' + \beta' + \gamma'=59,3^\circ$ .

**[0599]** Chaque fil interne F1' et externe F2' de chaque toron externe TE présente respectivement un diamètre D1', D2'. Chaque diamètre des fils internes D1' et externes D2' de chaque toron externe TE va de 0,15 mm à 0,60 mm, de préférence de 0,20 mm à 0,50

15 mm, plus préférentiellement de 0,23 mm à 0,45 mm et encore plus préférentiellement de 0,25 mm à 0,40 mm. Chaque Q' fil interne F1' de chaque toron externe TE présente un diamètre D1' supérieur ou égal, ici égal au diamètre D2' de chaque fil externe F2' de chaque toron externe TE. En l'espèce,  $D1'=D2'=0,35 \text{ mm}$ .

**[0600]** La couche externe C2' de chaque toron externe TE est désaturée et complètement

20 insaturée. La distance interfils I2' de la couche externe C2' séparant en moyenne les N' fils externes est supérieure ou égale à 5  $\mu\text{m}$ . La distance interfils I2' est de préférence supérieure ou égale à 15  $\mu\text{m}$ , plus préférentiellement supérieure ou égale à 35  $\mu\text{m}$ , encore plus préférentiellement supérieure ou égale à 50  $\mu\text{m}$  et très préférentiellement supérieure ou égale à 60  $\mu\text{m}$  et ici égale à 66  $\mu\text{m}$ . La somme SI2' des distances interfils I2' de la couche

25 externe C2' est supérieure au diamètre D2 des fils externes F2' de la couche externe C2'. Ici, la somme  $SI2'=8 \times 0,066=0,53 \text{ mm}$ , valeur strictement supérieure à  $D2'=0,35 \text{ mm}$ .

**[0601]**

**[0602]** Chaque fil F1, F2, F3, F1', F2' présente une résistance à la rupture, notée Rm, telle que  $2500 \leq Rm \leq 3100 \text{ MPa}$ . On dit de l'acier de ces fils qu'il est de grade SHT (« Super High Tensile »). D'autres fils peuvent être utilisés, par exemple des fils de grade inférieur, par exemple de grade NT (« Normal Tensile ») ou HT (« High Tensile »), comme des fils de grade supérieur, par exemple de grade UT (« Ultra Tensile ») ou MT (« Mega Tensile »).

30

**[0603]** On a  $64^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 224^\circ$ . En l'espèce, comme  $Q=1$  et  $Q'>1$ ,  $68^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 220^\circ$ . Dans le mode de réalisation du câble 360 à bas module,  $74^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 183^\circ$  et, comme  $Q=1$  et  $Q'>1$ ,  $84^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 168^\circ$  et ici  $3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' = 123,8^\circ$ .

5 **[0604]** On a  $0,60 \leq EC/EI \leq 1,20$  et ici  $EC/EI = 0,75$ .

**[0605]** On a également  $50 \text{ GPa} \leq EC \leq 160 \text{ GPa}$  et dans ce mode de réalisation du câble 360 à bas module,  $90 \text{ GPa} \leq EC \leq 130 \text{ GPa}$ . Ici  $EC = 111 \text{ GPa}$ .

### **[0606] CÂBLE SELON UN 23<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

10 **[0607]** On va maintenant décrire un câble 361 à bas module selon un deuxième mode de réalisation de l'invention. Les éléments analogues à ceux du câble 360 sont désignés par des références identiques.

**[0608]** Parmi les différences entre les câbles 360 et 361, on notera particulièrement  $Q>1$ ,  $Q=2, 3$  ou  $4$ ,  $P=7, 8, 9$  ou  $10$ ,  $N=13, 14$  ou  $15$  et ici  $Q=3$ ,  $P=8$  et  $N=13$ .

15 **[0609]** On notera que les  $Q$  fils internes  $F1$  sont enroulés en hélice au sein de chaque toron interne  $TI$  à un pas  $p1$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p1 \leq 15 \text{ mm}$ . Ici,  $p1 = 12 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\beta$  de chaque fil interne  $F1$  de la couche interne au sein de chaque toron interne  $TI$  va de  $4^\circ$  à  $17^\circ$ , ici  $\beta = 6^\circ$ . Les  $P$  fils intermédiaires  $F2$  sont enroulés en hélice autour des  $Q$  fils internes  $F1$  et sont assemblés au sein de chaque toron interne  $TI$  à un pas  $p2$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p2 \leq 20$   
20  $\text{mm}$ . Ici  $p2 = 18 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\delta$  de chaque fil intermédiaire  $F2$  dans la couche intermédiaire  $C2$  au sein de chaque toron interne  $TI$  va de  $8^\circ$  à  $22^\circ$ , ici  $\delta = 10,9^\circ$ . Les  $N$  fils externes  $F3$  sont enroulés en hélice autour des  $P$  fils intermédiaires  $F2$  et sont assemblés au sein de chaque toron interne  $TI$  à un pas  $p3$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p3 \leq 40 \text{ mm}$ . Ici  $p3 = 25 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma$  de chaque fil externe  $F3$  dans la couche externe  $C3$  au sein de chaque  
25 toron interne  $TI$  va de  $9^\circ$  à  $25^\circ$ , ici  $\gamma = 12,8^\circ$ .

**[0610]** On notera également que comme  $Q>1$ ,  $36^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 162^\circ$ . En l'espèce, dans ce mode de réalisation du câble 361 à bas module et comme  $Q>1$ ,  $36^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 128^\circ$  et ici  $3\alpha + \beta + \delta + \gamma = 51,9^\circ$ .

**[0611]** On notera que  $Q'=1$  et ici,  $N'=5$  ou  $6$ , de préférence  $N'=6$ .

30 **[0612]** On notera que les  $N'$  fils externes  $F2'$  sont enroulés en hélice autour des  $Q'$  fils internes  $F1'$  et sont assemblés au sein de chaque toron externe  $TE$  à un pas  $p2'$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p2' \leq 30 \text{ mm}$ . Ici  $p2' = 15 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma'$  de chaque fil externe  $F2'$  dans la couche externe  $C2'$  au sein de chaque toron externe  $TE$  va de  $5^\circ$  à  $26^\circ$ , ici  $\gamma' = 8,8^\circ$ .

[0613] On notera que comme  $Q' > 1$ ,  $28^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 86^\circ$ . En l'espèce, dans ce mode de réalisation du câble 361 à bas module,  $28^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 85^\circ$ . Dans le cas du câble 361,  $2\alpha' + \beta' + \gamma' = 63,4^\circ$ .

[0614] On notera que, comme  $Q > 1$  et  $Q' = 1$ ,  $73^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 212^\circ$ . Dans

5 le mode de réalisation du câble 361 à bas module,  $86^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 168^\circ$  et ici  $3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' = 115,3^\circ$ .

#### [0615] CÂBLE SELON UN 24<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION

10 [0616] On va maintenant décrire un câble 362 à bas module selon un troisième mode de réalisation de l'invention. Les éléments analogues à ceux des câbles précédemment décrits sont désignés par des références identiques.

[0617] Parmi les différences entre les câbles 360 et 362, on notera que  $28 \text{ GPa} \leq EI \leq 94 \text{ GPa}$  et, dans le cas du câble 362 à bas module comprenant une couche interne présentant un module relativement faible,  $25 \text{ GPa} \leq EI \leq 94 \text{ GPa}$ , de préférence  $64 \text{ GPa} \leq EI \leq 94 \text{ GPa}$ .

15 En l'espèce,  $EI = 65 \text{ GPa}$ .

[0618] On notera également que  $Q' = 1$ ,  $N' = 5$  ou  $6$  et ici de préférence  $N' = 6$ . Les  $N'$  fils externes  $F2'$  sont enroulés en hélice autour du  $Q' = 1$  fil interne  $F1'$  et sont assemblés au sein de chaque toron externe  $TE$  à un pas  $p2'$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p2' \leq 30 \text{ mm}$ . Ici  $p2' = 15 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma'$  de chaque fil externe  $F2'$  dans la couche externe  $C2'$  au sein de chaque

20 toron externe  $TE$  va de  $5^\circ$  à  $26^\circ$ , ici  $\gamma' = 8,8^\circ$ .

[0619] On notera que comme  $Q' = 1$ ,  $28^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 86^\circ$  et, dans ce mode de réalisation du câble 362 à bas module,  $28^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 85^\circ$ . Dans le cas du câble 362,  $2\alpha' + \beta' + \gamma' = 36,4^\circ$ .

[0620] On notera également que, comme  $Q = 1$  et  $Q' = 1$ ,  $64^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq$

25  $200^\circ$  et dans le mode de réalisation du câble 362 à bas module,  $74^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 158^\circ$  et ici  $3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' = 148,5^\circ$ .

[0621] On a également  $1,21 \leq EC/EI$  et de préférence  $1,21 \leq EC/EI \leq 3,00$  et dans le mode de réalisation du câble 362 à bas module,  $1,21 \leq EC/EI \leq 2,82$  et ici  $EC/EI = 1,54$ .

#### 30 [0622] CÂBLE SELON UN 25<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION

[0623] On va maintenant décrire un câble 363 à très bas module selon un quatrième mode de réalisation de l'invention. Les éléments analogues à ceux des câbles précédemment décrits sont désignés par des références identiques.

**[0624]** Parmi les différences entre les câbles 360 et 363, on notera que l'angle d'hélice  $\alpha$  de chaque toron interne TI dans la couche interne CI du câble 363 à très bas module va de  $4^\circ$  à  $36^\circ$  et en l'espèce  $\alpha=26,7^\circ$ . On notera que l'angle d'hélice  $\alpha'$  de chaque toron externe TE dans la couche externe CE du câble 363 à très bas module va de  $13^\circ$  à  $32^\circ$  et en l'espèce  $\alpha'=16^\circ$ .

**[0625]** On notera que  $Q>1$ ,  $Q=2, 3$  ou  $4$ ,  $P=7, 8, 9$  ou  $10$ ,  $N=13, 14$  ou  $15$  et ici  $Q=3$ ,  $P=8$  et  $N=13$ . Les  $Q$  fils internes F1 sont enroulés en hélice au sein de chaque toron interne TI à un pas  $p_1$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p_1 \leq 15 \text{ mm}$ . Ici,  $p_1=5 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\beta$  de chaque fil interne F1 de la couche interne au sein de chaque toron interne TI va de  $4^\circ$  à  $17^\circ$ , ici  $\beta=10,7^\circ$ . Les  $P$  fils intermédiaires F2 sont enroulés en hélice autour des  $Q$  fils internes F1 et sont assemblés au sein de chaque toron interne TI à un pas  $p_2$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p_2 \leq 20 \text{ mm}$ . Ici  $p_2=10 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\delta$  de chaque fil intermédiaire F2 dans la couche intermédiaire C2 au sein de chaque toron interne TI va de  $8^\circ$  à  $22^\circ$ , ici  $\delta=14,5^\circ$ . Les  $N$  fils externes F3 sont enroulés en hélice autour des  $P$  fils intermédiaires F2 et sont assemblés au sein de chaque toron interne TI à un pas  $p_3$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p_3 \leq 40 \text{ mm}$ . Ici  $p_3=15 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma$  de chaque fil externe F3 dans la couche externe C3 au sein de chaque toron interne TI va de  $9^\circ$  à  $25^\circ$ , ici  $\gamma=15,7^\circ$ .

**[0626]** On notera que, dans ce mode de réalisation du câble 363 à très bas module,  $35^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 162^\circ$  et ici comme  $Q>1$ ,  $36^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 162^\circ$ . Dans le cas du câble 363,  $3\alpha + \beta + \delta + \gamma=121^\circ$ .

**[0627]** On notera également que, dans le cas du câble 363 à très bas module,  $25 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ , de préférence  $36 \text{ GPa} \leq EI \leq 175 \text{ GPa}$  et, la couche interne présentant un module relativement faible, on a  $25 \text{ GPa} \leq EI \leq 94 \text{ GPa}$ , de préférence  $36 \text{ GPa} \leq EI \leq 94 \text{ GPa}$ . En l'espèce,  $EI=73 \text{ GPa}$ .

**[0628]** On notera que, dans le cas du câble 363 à très bas module,  $34^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 96^\circ$  et ici comme  $Q'>1$ ,  $42^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 96^\circ$  et ici,  $2\alpha' + \beta' + \gamma'=65,6^\circ$ .

**[0629]** On notera également que, dans le cas du câble 363 à très bas module,  $100^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 224^\circ$  et comme  $Q>1$  et  $Q'=1$ ,  $121^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 224^\circ$  et ici  $3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma'=186,6^\circ$ .

**[0630]** On notera que, dans le cas du câble 363 à très bas module,  $0,60 \leq EC/EI \leq 1,20$  et ici  $EC/EI=1,14$ .

**[0631]** On a également  $50 \text{ GPa} \leq EC \leq 160 \text{ GPa}$  et dans ce mode de réalisation du câble 363 à très bas module,  $50 \text{ GPa} \leq EC \leq 89 \text{ GPa}$ . Ici  $EC=83 \text{ GPa}$ .

**[0632] CÂBLE SELON UN 26<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

**[0633]** On va maintenant décrire un câble 364 à très bas module selon un cinquième mode de réalisation de l'invention. Les éléments analogues à ceux des câbles précédemment

**[0634]** Parmi les différences entre les câbles 363 et 364, on notera que  $Q=1$ ,  $P=5$  ou  $6$  et  $N=10$ ,  $11$  ou  $12$ , de préférence  $Q=1$ ,  $P=5$  ou  $6$  et  $N=10$  ou  $11$  et ici, plus préférentiellement  $Q=1$ ,  $P=6$  et  $N=11$ . Les  $P$  fils intermédiaires  $F2$  sont enroulés en hélice autour du  $Q=1$  fil interne  $F1$  et sont assemblés au sein de chaque toron interne  $TI$  à un pas  $p2$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p2 \leq 20 \text{ mm}$ . Ici  $p2=5 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\delta$  de chaque fil intermédiaire  $F2$  dans la couche intermédiaire  $C2$  au sein de chaque toron interne  $TI$  va de  $6^\circ$  à  $30^\circ$ , ici  $\delta=19,4^\circ$ . Les  $N$  fils externes  $F3$  sont enroulés en hélice autour des  $P$  fils intermédiaires  $F2$  et sont assemblés au sein de chaque toron interne  $TI$  à un pas  $p3$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p3 \leq 40 \text{ mm}$ . Ici  $p3=10 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma$  de chaque fil externe  $F3$  dans la couche externe  $C3$  au sein de chaque toron interne  $TI$  va de  $7^\circ$  à  $30^\circ$ , ici  $\gamma=18,7^\circ$ .

**[0635]** On notera que, comme  $Q=1$ , dans le mode de réalisation du câble 364 à très bas module,  $35^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 140^\circ$  et ici,  $3\alpha + \beta + \delta + \gamma=51,9^\circ$ .

**[0636]** On notera que, le câble 364 à très bas module présentant une couche interne du câble de module relativement élevé,  $95 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ , de préférence  $95 \text{ GPa} \leq EI \leq 175 \text{ GPa}$ , En l'espèce,  $EI=146 \text{ GPa}$ .

**[0637]** On notera également que  $Q'=1$  et ici,  $N'=5$  ou  $6$ , de préférence  $N'=6$ . Les  $N'$  fils externes  $F2'$  sont enroulés en hélice autour du  $Q'=1$  fil interne  $F1'$  et sont assemblés au sein de chaque toron externe  $TE$  à un pas  $p2'$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p2' \leq 30 \text{ mm}$ . Ici  $p2'=5 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma'$  de chaque fil externe  $F2'$  dans la couche externe  $C2'$  au sein de chaque toron externe  $TE$  va de  $5^\circ$  à  $26^\circ$ , ici  $\gamma'=25,4^\circ$ .

**[0638]** On notera que, comme  $Q'=1$ ,  $28^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 86^\circ$  et dans ce mode de réalisation du câble 364 à très bas module,  $34^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 86^\circ$  et ici  $2\alpha' + \beta' + \gamma'=64,8^\circ$ .

**[0639]** On notera également que, comme  $Q=1$  et  $Q'=1$ ,  $64^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 200^\circ$  et dans le mode de réalisation du câble 364 à très bas module,  $100^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 200^\circ$  et ici  $3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma'=116,7^\circ$ .

**[0640]** On notera également que  $EC/EI \leq 0,59$  et ici  $EC/EI=0,58$ .

**[0641] CÂBLE SELON UN 27<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

**[0642]** On va maintenant décrire un câble 365 à moyen module selon un sixième mode de

réalisation de l'invention. Les éléments analogues à ceux des câbles précédemment décrits sont désignés par des références identiques.

**[0643]** Parmi les différences entre les câbles 360 et 365, on notera que l'angle d'hélice  $\alpha$  de chaque toron interne TI dans la couche interne CI va, dans le cas du câble à moyen module 65, de  $4^\circ$  à  $23^\circ$  et en l'espèce  $\alpha=11^\circ$ . L'angle d'hélice  $\alpha'$  de chaque toron externe TE dans la couche externe CE va, dans le cas du câble à moyen module 65, de  $10^\circ$  à  $27^\circ$  et, en l'espèce,  $\alpha'=17^\circ$ .

**[0644]** On notera également que  $Q>1$ ,  $Q=2, 3$  ou  $4$ ,  $P=7, 8, 9$  ou  $10$ ,  $N=13, 14$  ou  $15$  et ici  $Q=3$ ,  $P=8$  et  $N=13$ . Les  $Q$  fils internes F1 sont enroulés en hélice au sein de chaque toron interne TI à un pas  $p_1$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p_1 \leq 15 \text{ mm}$ . Ici,  $p_1=8 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\beta$  de chaque fil interne F1 de la couche interne au sein de chaque toron interne TI va de  $4^\circ$  à  $17^\circ$ , ici  $\beta=6,7^\circ$ . Les  $P$  fils intermédiaires F2 sont enroulés en hélice autour des  $Q$  fils internes F1 et sont assemblés au sein de chaque toron interne TI à un pas  $p_2$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p_2 \leq 20 \text{ mm}$ . Ici  $p_2=15 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\delta$  de chaque fil intermédiaire F2 dans la couche intermédiaire C2 au sein de chaque toron interne TI va de  $8^\circ$  à  $22^\circ$ , ici  $\delta=9,8^\circ$ . Les  $N$  fils externes F3 sont enroulés en hélice autour des  $P$  fils intermédiaires F2 et sont assemblés au sein de chaque toron interne TI à un pas  $p_3$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p_3 \leq 40 \text{ mm}$ . Ici  $p_3=20 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma$  de chaque fil externe F3 dans la couche externe C3 au sein de chaque toron interne TI va de  $9^\circ$  à  $25^\circ$ , ici  $\gamma=11,9^\circ$ .

**[0645]** On notera également que, dans le cas du câble 365 à moyen module et comme  $Q>1$ ,  $26^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma \leq 97^\circ$  et ici,  $3\alpha + \beta + \delta + \gamma=61,4^\circ$ .

**[0646]** On a également, dans le cas du câble 365 à moyen module,  $78 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ , de préférence  $100 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ . Dans le cas du câble 365 à moyen module comprenant une couche interne présentant un module relativement élevé,  $95 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$  et ici  $EI=157 \text{ GPa}$ .

**[0647]** On notera également que  $Q'=1$ ,  $N'=5$  ou  $6$  et ici de préférence  $N'=6$ . Les  $N'$  fils externes F2' sont enroulés en hélice autour du  $Q'=1$  fil interne F1' et sont assemblés au sein de chaque toron externe TE à un pas  $p_2'$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p_2' \leq 30 \text{ mm}$ . Ici  $p_2'=15 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma'$  de chaque fil externe F2' dans la couche externe C2' au sein de chaque toron externe TE va de  $5^\circ$  à  $26^\circ$ , ici  $\gamma'=8,8^\circ$ .

**[0648]** On notera que, dans le cas du câble 365 à moyen module,  $30^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 64^\circ$  et ici comme  $Q'=1$ ,  $30^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 62^\circ$  et en l'espèce,  $2\alpha' + \beta' + \gamma'=44^\circ$ .

**[0649]** On notera que, dans le cas du câble 365 à moyen module,  $64^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 135^\circ$  et, comme  $Q>1$  et  $Q'=1$ ,  $73^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 131^\circ$ , et ici,  $3\alpha$

$$+ \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' = 105,4^\circ.$$

[0650] On a également  $0,60 \leq EC/EI \leq 1,20$ , de préférence  $0,80 \leq EC/EI \leq 1,15$  et ici  $EC/EI=0,91$ .

[0651] On a également  $50 \text{ GPa} \leq EC \leq 160 \text{ GPa}$  et dans ce mode de réalisation du câble  
5 365 à moyen module,  $131 \text{ GPa} \leq EC \leq 160 \text{ GPa}$ . Ici  $EC=143 \text{ GPa}$ .

#### [0652] CÂBLE SELON UN 28<sup>ème</sup> MODE DE REALISATION DE L'INVENTION

[0653] On va maintenant décrire un câble 366 à moyen module selon un septième mode de réalisation de l'invention. Les éléments analogues à ceux des câbles précédemment décrits  
10 sont désignés par des références identiques.

[0654] Parmi les différences entre les câbles 365 et 366, on notera que  $Q=1$ ,  $P=5$  ou  $6$  et  $N=10$ ,  $11$  ou  $12$ , de préférence  $Q=1$ ,  $P=5$  ou  $6$  et  $N=10$  ou  $11$  et ici, plus préférentiellement  $Q=1$ ,  $P=6$  et  $N=11$ . Les  $P$  fils intermédiaires  $F2$  sont enroulés en hélice autour du  $Q=1$  fil interne  $F1$  et sont assemblés au sein de chaque toron interne  $TI$  à un pas  $p2$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p2 \leq 20 \text{ mm}$ . Ici  $p2=15 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\delta$  de chaque fil intermédiaire  $F2$  dans la couche intermédiaire  $C2$  au sein de chaque toron interne  $TI$  va de  $6^\circ$  à  $30^\circ$ , ici  $\delta=8,8^\circ$ . Les  $N$  fils externes  $F3$  sont enroulés en hélice autour des  $P$  fils intermédiaires  $F2$  et sont assemblés au sein de chaque toron interne  $TI$  à un pas  $p3$  tel que  $10 \text{ mm} \leq p3 \leq 40 \text{ mm}$ . Ici  $p3=25 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma$  de chaque fil externe  $F3$  dans la couche externe  $C3$  au sein de chaque toron interne  $TI$  va de  $7^\circ$  à  $30^\circ$ , ici  $\gamma=10,3^\circ$ .  
15 20

[0655] On notera également que  $Q'=2, 3$  ou  $4$ , de préférence  $Q'=3$  ou  $4$ .  $N'=7, 8, 9$  ou  $10$ , de préférence  $N'=8, 9$  ou  $10$ . Avec  $Q'=3$ ,  $N'=7, 8$  ou  $9$  et en l'espèce  $Q'=3$ ,  $N'=8$ .

[0656] On notera également que, les  $Q'$  fils internes  $F1'$  sont assemblés au sein de chaque toron externe  $TE$  à un pas  $p1'$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p1' \leq 20 \text{ mm}$ . Ici  $p1'=8 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\beta'$   
25 de chaque fil interne  $F1'$  dans la couche interne  $C1'$  au sein de chaque toron externe  $TE$  va de  $4^\circ$  à  $17^\circ$ , ici  $\beta'=6,7^\circ$ . Les  $N'$  fils externes  $F2'$  sont enroulés en hélice autour des  $Q'$  fils internes  $F1'$  et sont assemblés au sein de chaque toron externe  $TE$  à un pas  $p2'$  tel que  $5 \text{ mm} \leq p2' \leq 40 \text{ mm}$ . Ici  $p2'=15 \text{ mm}$ . L'angle d'hélice  $\gamma'$  de chaque fil externe  $F2'$  dans la couche externe  $C2'$  au sein de chaque toron externe  $TE$  va de  $7^\circ$  à  $20^\circ$ , ici  $\gamma'=9,8^\circ$ .

[0657] On notera que, dans le cas du câble 366 à moyen module et comme  $Q'>1$ ,  $37^\circ \leq 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 64^\circ$  et en l'espèce,  $2\alpha' + \beta' + \gamma'=45,5^\circ$ .  
30

[0658] On notera également que, dans le cas du câble 366 à moyen module et comme  $Q=1$  et  $Q'>1$ ,  $68^\circ \leq 3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma' \leq 127^\circ$  et ici  $3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma'=101,5^\circ$ .

**[0659]** On notera que chaque câble décrit ci-dessus est métallique et est du type multi-torons à deux couches cylindriques. Ainsi, on comprend que les couches de torons constituant le câble sont au nombre de deux, ni plus, ni moins. Les couches de torons sont adjacentes et concentriques. On notera également que le câble est dépourvu de composition polymérique et de composition d'élastomère lorsqu'il n'est pas intégré au pneumatique.

**[0660]** On a résumé dans les tableaux 1 à 5 ci-dessous les caractéristiques des câbles décrits ci-dessus ainsi que celles des exemples 2-1, 2-2 et 2-4 de WO2008026271 identifiés respectivement par les lettres T2-1, T2-2 et T2-4 dans les tableaux 1 à 5.

**[0661]** Dans ces tableaux 1 à 5, on a reporté les modules EC mesurés des câbles. On a illustré les courbes force-allongement mesurée selon la norme ASTM D2969-04 de 2014 des câbles 60, 61 et 62 selon l'invention respectivement sur les figures 4, 5 et 7. Sur chacune de ces figures, on a tracé en trait plein la tangente à la partie élastique de la courbe force-allongement permettant de calculer les modules EC. On a également identifié les allongements structuraux  $A_s$ , élastiques  $A_e$  et plastique  $A_p$ . L'allongement structural  $A_s$  est mesuré entre l'origine et l'intersection de la tangente à la partie élastique avec l'axe des abscisses. L'allongement élastique  $A_e$  est mesuré entre l'intersection de la tangente à la partie élastique avec l'axe des abscisses et l'intersection de la tangente à la partie élastique avec l'ordonnée correspondant à l'allongement à rupture. L'allongement plastique  $A_p$  est mesuré entre l'intersection de la tangente à la partie élastique avec l'ordonnée correspondant à l'allongement à rupture et l'allongement à rupture.

**[0662]** Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux exemples de réalisation précédemment décrits.

**[0663]** Pour des raisons de faisabilité industrielle, de coût et de performance globale, on préfère mettre en œuvre l'invention avec des fils linéaires, c'est-à-dire droits. En d'autres termes, les fils utilisés ne sont pas préformés avant leur assemblage.

**[0664]** On pourra également combiner les caractéristiques des différents modes de réalisation décrits ou envisagés ci-dessus sous réserve que celles-ci soient compatibles entre elles.

| Câble                                                    | T2-2        | 60             | 61            | 62           | 63             | 64             | 65           | 66           |
|----------------------------------------------------------|-------------|----------------|---------------|--------------|----------------|----------------|--------------|--------------|
| Q/N                                                      | 3/9         | 3/8            | 3/8           | 3/8          | 3/8            | 3/8            | 3/8          | 3/8          |
| D1/D2                                                    | 0,255/0,255 | 0,35/0,35      | 0,35/0,35     | 0,26/0,26    | 0,35/0,35      | 0,40/0,40      | 0,26/0,26    | 0,35/0,35    |
| P1/p1/p2 (mm)                                            | 55/8/16     | 15/3/6         | 30/7,4/11,8   | 30/11,2/22,2 | 30/10/20       | 40/3,4/6,9     | 15/2,2/4,5   | 30/15/30     |
| $\alpha/\beta/\gamma$                                    | 4/6,6/9     | 19,8/23,4/30,2 | 10/9,8/16,4   | 9,1/4,8/6,6  | 12,3/7,3/9,8   | 10,6/23,6/30,1 | 18,3/23,7/30 | 12,3/4,8/6,6 |
| $2\alpha + \beta + \gamma$                               | 23,6        | 93,2           | 46,2          | 29,6         | 41,7           | 74,9           | 90,3         | 36           |
| EI (GPa)                                                 | >170        | 53             | 148           | 173          | 158            | 76             | 59           | 164          |
| Q'/N'                                                    | 3/9         | 3/8            | 3/8           | 3/8          | 3/8            | 3/8            | 3/8          | 3/8          |
| D1'/D2'                                                  | 0,255/0,255 | 0,35/0,35      | 0,35/0,35     | 0,26/0,26    | 0,35/0,35      | 0,40/0,40      | 0,26/0,26    | 0,35/0,35    |
| PE/p1'/p2' (mm)                                          | 60/8/16     | 40/10/20       | 50/7,7/15,4   | 40/10/20     | 60/3/6         | 40/10/20       | 40/10/20     | 50/10/20     |
| $\alpha'/\beta'/\gamma'$                                 | 9,9/6,6/9   | 20/7,3/9,8     | 16,1/9,4/12,7 | 16,2/7,3/9,8 | 14,7/23,4/30,2 | 24,2/7,3/9,8   | 16,4/7,3/9,8 | 17,4/7,3/9,8 |
| $2\alpha' + \beta' + \gamma'$                            | 35,4        | 57,1           | 54,3          | 49,5         | 83             | 65,5           | 49,9         | 51,9         |
| J/L                                                      | 3/9         | 3/8            | 3/8           | 4/9          | 4/9            | 4/9            | 4/10         | 4/10         |
| $2\alpha + \beta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma'$ | 59          | 150,3          | 100,5         | 79,1         | 124,7          | 140,4          | 140,2        | 87,9         |
| EC (GPa)                                                 | >160        | 86             | 127           | 149          | 79             | 82             | 96           | 143          |
| EC/EI                                                    | /           | 1,62           | 0,86          | 0,86         | 0,50           | 1,08           | 1,63         | 0,87         |

Tableau 1

| Câble |                                                                             | T2-1              | 160              | 161              | 162               | 163               | 164                | 165             | 166              |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-----------------|------------------|
| T1    | Q/P/N                                                                       | 3/9/15            | 1/6/11           | 1/6/11           | 3/8/13            | 3/8/13            | 3/8/13             | 1/6/11          | 1/6/11           |
|       | D1/D2/D3                                                                    | 0,175/0,175/0,175 | 0,26/0,26/0,26   | 0,40/0,40/0,40   | 0,26/0,26/0,26    | 0,30/0,30/0,30    | 0,40/0,40/0,40     | 0,40/0,40/0,40  | 0,26/0,26/0,26   |
|       | P1/p1/p2/p3 (mm)                                                            | 50/5/10/15        | 20/inf/7,7/15,4  | 60/inf/15/25     | 15/8/15/20        | 15/5/10/15        | 60/12/18/25        | 15/inf/15/25    | 15/inf/5/10      |
|       | $\alpha/\beta/\delta/\gamma$                                                | 4,5/7,3/9,8/10,7  | 13,4/0/12,2/12,1 | 6,9/0/9,6/11,4   | 26,7/6,7/9,8/11,9 | 24,6/12,4/16,6/18 | 8,5/6,9/12,4/14,5  | 33,3/0/9,6/11,4 | 17,9/0/18,8/18,5 |
|       | $3\alpha + \beta + \delta + \gamma$                                         | 41,3              | 64,5             | 41,7             | 108,50            | 120,8             | 59,3               | 120,9           | 91               |
|       | EI (GPa)                                                                    | >170              | 147              | 168              | 82                | 744               | 157                | 55              | 96               |
|       | Q'/P'/N'                                                                    | 3/9/15            | 1/6/11           | 1/6/11           | 3/8/13            | 1/6/11            | 3/8/13             | 3/8/13          | 3/8/13           |
|       | D1'/D2'/D3'                                                                 | 0,175/0,175/0,175 | 0,38/0,30/0,30   | 0,30/0,30/0,30   | 0,26/0,26/0,26    | 0,30/0,30/0,30    | 0,30/0,30/0,30     | 0,30/0,30/0,30  | 0,26/0,26/0,26   |
|       | PE/p1'/p2'/p3' (mm)                                                         | 65/5/10/15        | 40/inf/7,7/15,4  | 60/inf/5/10      | 60/12/18/25       | 60/inf/5/10       | 35/8/15/20         | 60/12/18/25     | 60/12/18/25      |
|       | $\alpha'/\beta'/\delta'/\gamma'$                                            | 9,3/7,3/9,8/10,7  | 19,1/0/15,5/14,6 | 17,1/0/21,7/21,2 | 16,4/4,5/8,1/9,6  | 16,3/0/21,7/21,2  | 32,7/7,8/11,2/13,7 | 20,1/5,2/9,4/11 | 13,2/4,5/8,1/9,6 |
| TE    | $3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma'$                                     | 55,7              | 87,4             | 94,2             | 71,4              | 91,8              | 130,8              | 85,9            | 61,8             |
|       | J/L                                                                         | 3/9               | 3/8              | 3/8              | 4/9               | 3/8               | 3/8                | 4/9             | 3/8              |
|       | $3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma'$ | 97                | 151,9            | 135,9            | 179,9             | 212,6             | 190,1              | 206,8           | 152,8            |
|       | EC (GPa)                                                                    | >160              | 103              | 109              | 106               | 80                | 78                 | 79              | 141              |
|       | EC/EI                                                                       | /                 | 0,70             | 0,65             | 1,29              | 1,08              | 0,49               | 1,44            | 1,48             |

Tableau 2

| Câble                                                              |                                         | T2-4                   | 260                  | 261                  | 262                | 263                  | 264                | 265                  | 266                  |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| T1                                                                 | Q/N                                     | 3/9                    | 4/9                  | 1/6                  | 3/8                | 3/8                  | 3/8                | 1/6                  | 3/8                  |
|                                                                    | D1/D2                                   | 0,175/0,175            | 0,30/0,30            | 0,30/0,26            | 0,26/0,26          | 0,35/0,35            | 0,35/0,35          | 0,30/0,26            | 0,35/0,35            |
|                                                                    | PI/p1/p2 (mm)                           | 45/5,5/12              | 20/7,7/15,4          | 60/inf/7,7           | 15/8/15            | 30/5/10              | 15/8/15            | 60/inf/5             | 60/12/18             |
|                                                                    | $\alpha/\beta/\gamma$                   | 3,4/6,6/8,2            | 13,6/9,9/11,8        | 6,8/0/12,9           | 29,6/6,7/9,8       | 10/14,4/19,2         | 35,6/9/13          | 6,8/0/19,4           | 5/6/10,9             |
|                                                                    | $2\alpha + \beta + \gamma$              | 21,6                   | 48,9                 | 26,5                 | 75,7               | 53,60                | 93,20              | 33                   | 26,90                |
|                                                                    | EI (GPa)                                | >170                   | 148                  | 171                  | 71                 | 130                  | 42                 | 165                  | 173                  |
|                                                                    | Q'/P'/N'                                | 3/9/15                 | 1/6/11               | 1/6/11               | 1/6/11             | 1/6/11               | 3/8/13             | 1/6/11               | 3/8/13               |
| TE                                                                 | D1'/D2'/D3'                             | 0,255/0,255/<br>0,255  | 0,38/0,30/0,3<br>0   | 0,30/0,26/<br>0,26   | 0,30/0,26/<br>0,26 | 0,39/0,35/<br>0,35   | 0,35/0,35/<br>0,35 | 0,30/0,26/<br>0,26   | 0,26/0,26/<br>0,26   |
|                                                                    | PE/p1'/p2'/p3'<br>(mm)                  | 55/6/12/18             | 40/inf/7,7/15,<br>4  | 35/inf/5/<br>10      | 60/inf/15/<br>25   | 60/inf/5/<br>10      | 60/12/18/<br>25    | 60/inf/7,7/<br>15,4  | 45/12/18/<br>25      |
|                                                                    | $\alpha'/\beta'/\delta'/\gamma'$        | 10,3/8,8/11,9/<br>12,9 | 19,1/0/15,5/1<br>4,6 | 25,1/0/19,4/<br>18,7 | 17/0/6,7/<br>7,7   | 14,5/0/25,4/<br>24,6 | 22/6/10,9/<br>12,8 | 15,3/0/12,9/<br>12,4 | 18,3/4,5/8,1/<br>9,6 |
|                                                                    | $3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma'$ | 64,5                   | 87,4                 | 113,4                | 65,4               | 93,5                 | 95,7               | 71,4                 | 77,1                 |
|                                                                    | J/L                                     | 3/6                    | 3/8                  | 4/9                  | 4/9                | 3/8                  | 4/9                | 4/9                  | 3/8                  |
| $2\alpha + \beta + \gamma + 3\alpha' + \beta' + \delta' + \gamma'$ |                                         | 86,1                   | 136,3                | 139,9                | 141,1              | 147,1                | 188,9              | 104,2                | 104                  |
| EC (GPa)                                                           |                                         | >160                   | 102                  | 97                   | 94                 | 84                   | 72                 | 148                  | 142                  |
| EC/EI                                                              |                                         | /                      | 0,69                 | 0,56                 | 1,33               | 0,64                 | 1,72               | 0,90                 | 0,82                 |

Tableau 3

| Cáble                                                             | T2-1                                | T2-2              | T2-4        | 360                | 361             |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------|--------------------|-----------------|
| T1                                                                | Q/P/N                               | 3/-/9             | 3/-/9       | 1/6/11             | 3/8/13          |
|                                                                   | D1/D2/D3                            | 0,175/0,175/0,175 | 0,175/0,175 | 0,26/0,26/0,26     | 0,35/0,35/0,35  |
|                                                                   | PI/p1/p2/p3 (mm)                    | 50/5/10/15        | 55/8/16     | 20/inf/7,7/15,4    | 60/12/18/25     |
|                                                                   | $\alpha/\beta/\delta/\gamma$        | 4,5/7,3/9,8/10,7  | 4/6,6/-/9   | 3,4/6,6/8,2        | 7,4/6/10,9/12,8 |
|                                                                   | $3\alpha + \beta + \delta + \gamma$ | 41,3              | /           | 64,5               | 51,9            |
|                                                                   | EI (GPa)                            | >170              | >170        | 147                | 164             |
| TE                                                                | Q'/N'                               | 3/9/15            | 3/9         | 3/9/15             | 1/6             |
|                                                                   | D1'/D2'                             | 0,175/0,175/0,175 | 0,255/0,255 | 0,255/0,255/0,255  | 0,39/0,35       |
|                                                                   | PE/p1'/p2' (mm)                     | 65/5/10/15        | 60/8/16     | 55/6/12/18         | 35/inf/15       |
|                                                                   | $\alpha'/\beta'/\gamma'$            | 9,3/7,3/9,8/10,7  | 9,9/6,6/9   | 10,3/8,8/11,9/12,9 | 27,3/0/8,8      |
|                                                                   | $2\alpha' + \beta' + \gamma'$       | /                 | 35,4        | /                  | 63,4            |
|                                                                   | J/L                                 | 3/9               | 3/9         | 3/6                | 3/8             |
| $3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma'$ |                                     | /                 | /           | /                  | 115,3           |
|                                                                   | EC (GPa)                            | >160              | >160        | >160               | 112             |
|                                                                   | EC/EI                               | /                 | /           | /                  | 0,68            |

Tableau 4

| Cáble |                                                                   | 362              | 363                 | 364             | 365             | 366             |
|-------|-------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| T1    | Q/P/N                                                             | 1/6/11           | 3/8/13              | 1/6/11          | 3/8/13          | 1/6/11          |
|       | D1/D2/D3                                                          | 0,39/0,35/0,35   | 0,26/0,26/0,26      | 0,30/0,26/0,26  | 0,26/0,26/0,26  | 0,39/0,35/0,35  |
|       | PI/p1/p2/p3 (mm)                                                  | 15/inf/5/10      | 15/5/10/15          | 60/inf/5/10     | 30/8/15/20      | 30/inf/15/25    |
|       | $\alpha/\beta/\delta/\gamma$                                      | 20,7/0/25,4/24,6 | 26,7/10,7/14,5/15,7 | 4,6/0/19,4/18,7 | 11/6,7/9,8/11,9 | 12,3/0/8,8/10,3 |
|       | $3\alpha + \beta + \delta + \gamma$                               | 112,10           | 121                 | 51,90           | 61,40           | 56              |
|       | EI (GPa)                                                          | 65               | 73                  | 146             | 157             | 157             |
| TE    | Q'/N'                                                             | 1/6              | 3/8                 | 1/6             | 1/6             | 3/8             |
|       | D1'/D2'                                                           | 0,39/0,35        | 0,35/0,35           | 0,39/0,35       | 0,39/0,35       | 0,26/0,26       |
|       | PE/p1'/p2' (mm)                                                   | 50/inf/15        | 60/5/10             | 35/inf/5        | 45/inf/15       | 60/8/15         |
|       | $\alpha'/\beta'/\gamma'$                                          | 13,8/0/8,8       | 16/14,4/19,2        | 19,7/0/25,4     | 17,6/0/8,8      | 14,5/6,7/9,8    |
|       | $2\alpha' + \beta' + \gamma'$                                     | 36,4             | 65,6                | 64,8            | 44              | 45,5            |
|       | J/L                                                               | 2/8              | 4/9                 | 3/8             | 3/8             | 3/8             |
|       | $3\alpha + \beta + \delta + \gamma + 2\alpha' + \beta' + \gamma'$ | 148,5            | 186,6               | 116,7           | 105,4           | 101,5           |
|       | EC (GPa)                                                          | 100              | 83                  | 85              | 143             | 149             |
|       | EC/EI                                                             | 1,54             | 1,14                | 0,58            | 0,91            | 0,95            |

Tableau 5

REVENDEICATIONS

1. Câble multi-torons (60) à deux couches présentant un module EC et comprenant :

- une couche interne (CI) du câble constituée de  $J > 1$  torons internes (TI) enroulés en

5 hélice, chaque toron interne (TI) comprenant :

- une couche interne (C1) constituée de  $Q \geq 1$  fils internes (F1), et
- une couche externe (C2; C3) constituée de  $N > 1$  fils externes (F2; F3) enroulés autour de la couche interne (C1),

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) comprenant :

- une couche interne (C1') constituée de  $Q' \geq 1$  fils internes (F1'),
- une couche externe (C2'; C3') constituée de  $N' > 1$  fils externes (F2'; F3') enroulés autour de la couche interne (C1'),

**caractérisé en ce que**  $50 \text{ GPa} \leq EC \leq 160 \text{ GPa}$ .

15 2. Câble (60) selon la revendication précédente, dans lequel, la couche interne (CI) du câble présentant un module EI,  $25 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ .

3. Câble (60) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel, la couche interne (CI) du câble présentant un module EI,  $0,60 \leq EC/EI \leq 1,20$ .

20 4. Câble (60) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel  $EC/EI \leq 0,59$  ou  $1,21 \leq EC/EI$ , de préférence  $0,40 \leq EC/EI \leq 0,59$  ou  $1,21 \leq EC/EI \leq 3,00$ .

5. Câble (60) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel  $50 \text{ GPa} \leq EC \leq 89 \text{ GPa}$ .

6. Câble (60) selon la revendication précédente, dans lequel  $36 \text{ GPa} \leq EI \leq 175 \text{ GPa}$ .

25 7. Câble (60) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel  $90 \text{ GPa} \leq EC \leq 130 \text{ GPa}$ .

8. Câble (60) selon la revendication précédente, dans lequel  $25 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ , de préférence  $64 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ .

30 9. Câble (60) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel  $131 \text{ GPa} \leq EC \leq 160 \text{ GPa}$ .

10. Câble (60) selon la revendication précédente, dans lequel  $78 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ , de préférence  $100 \text{ GPa} \leq EI \leq 180 \text{ GPa}$ .

11. Câble (60) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel  $J=2, 3$  ou  $4$ , de préférence  $J=3$  ou  $4$ .

35 12. Câble (60) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel  $L=7, 8, 9$  ou  $10$ , de préférence  $L=8, 9$  ou  $10$  et plus préférentiellement  $L=8$  ou  $9$ .

13. Câble (60) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la couche externe (CE) du câble est désaturée.

14. Pneumatique (10), **caractérisé en ce qu'il** comprend un câble (60) selon l'une quelconque des revendications précédentes.

5 15. Pneumatique (10) selon la revendication précédente, comprenant une armature de carcasse (24) ancrée dans deux bourrelets (18) et surmontée radialement par une armature de sommet (14) elle-même surmontée d'une bande de roulement (22), l'armature de sommet (14) étant réunie auxdits bourrelets (18) par deux flancs (16), l'armature de sommet (14) comprenant au moins un câble (60) selon l'une quelconque des  
10 revendications 1 à 13.

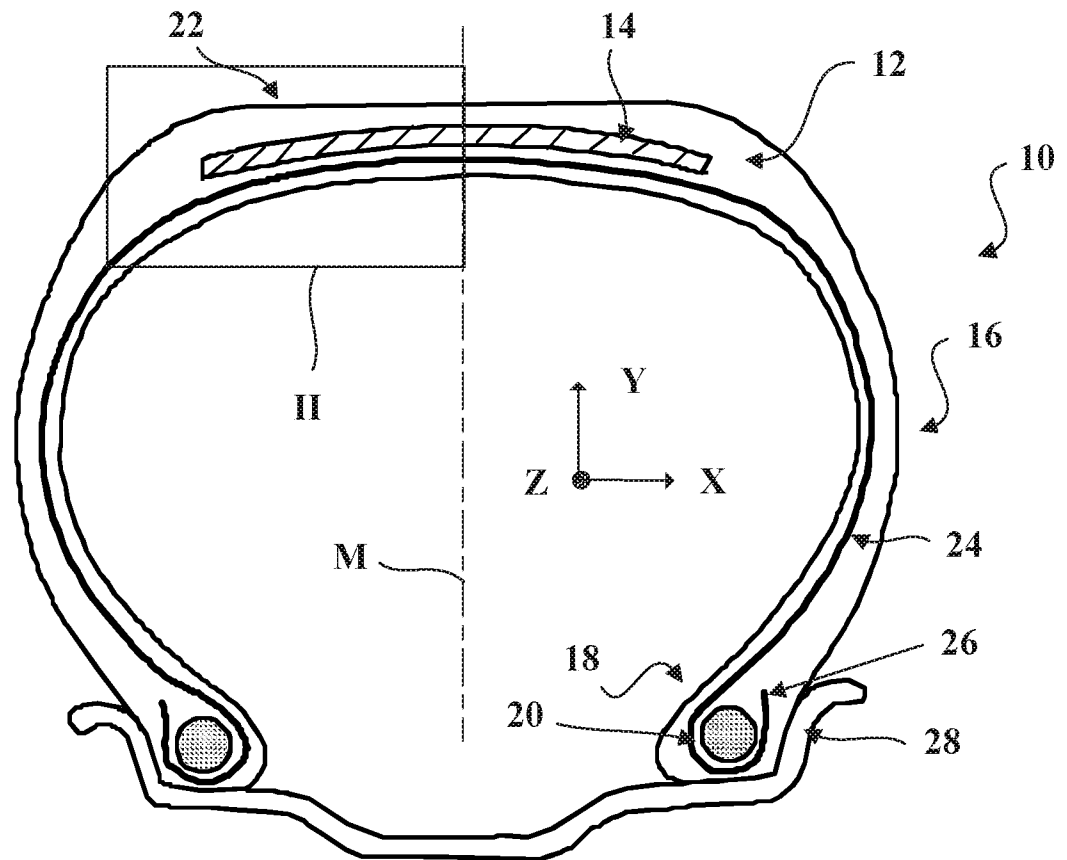


FIG. 1

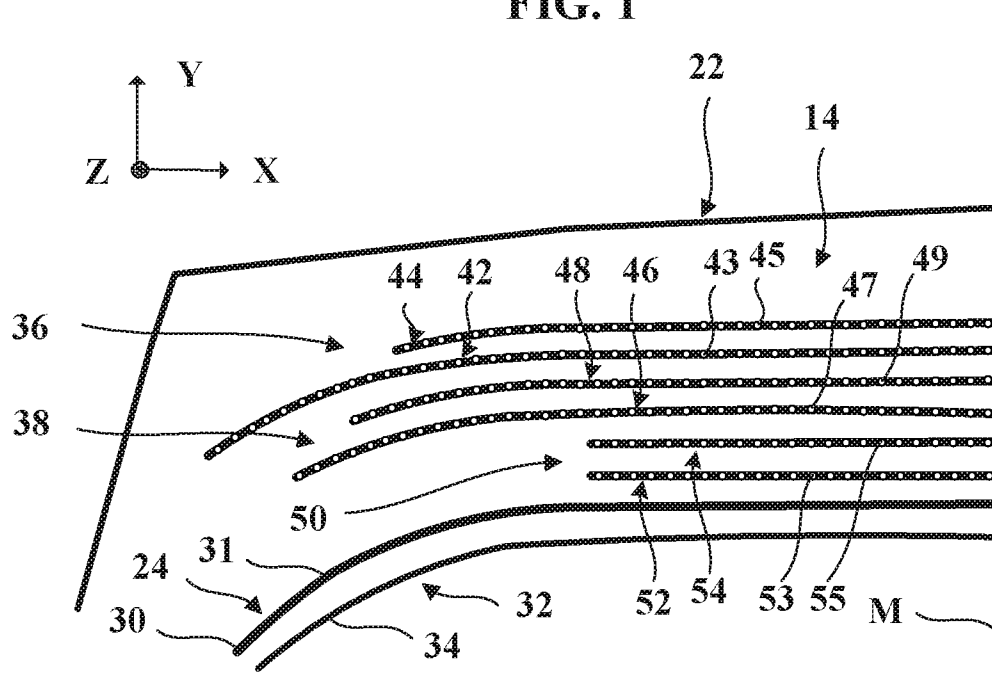


FIG. 2

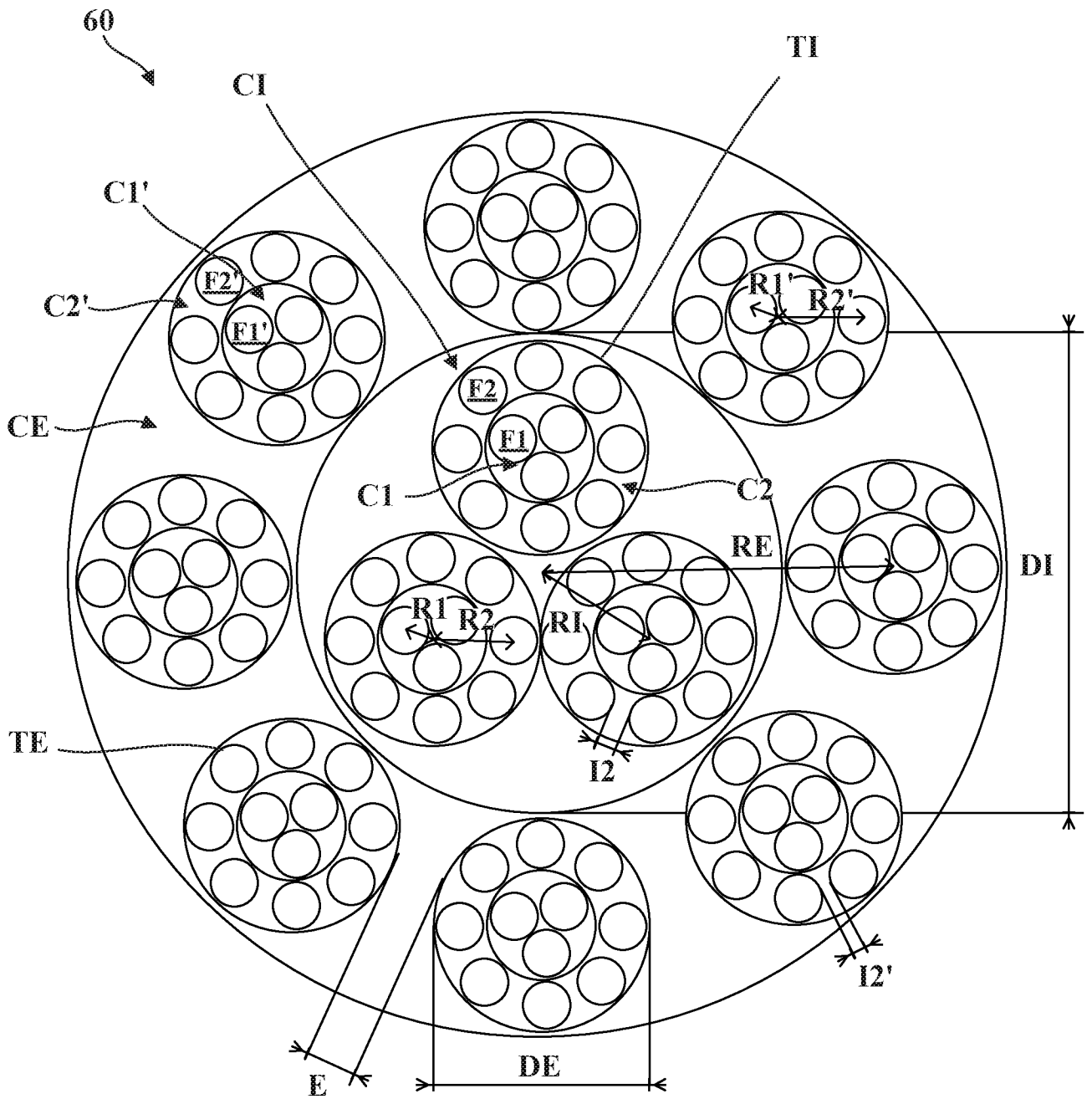
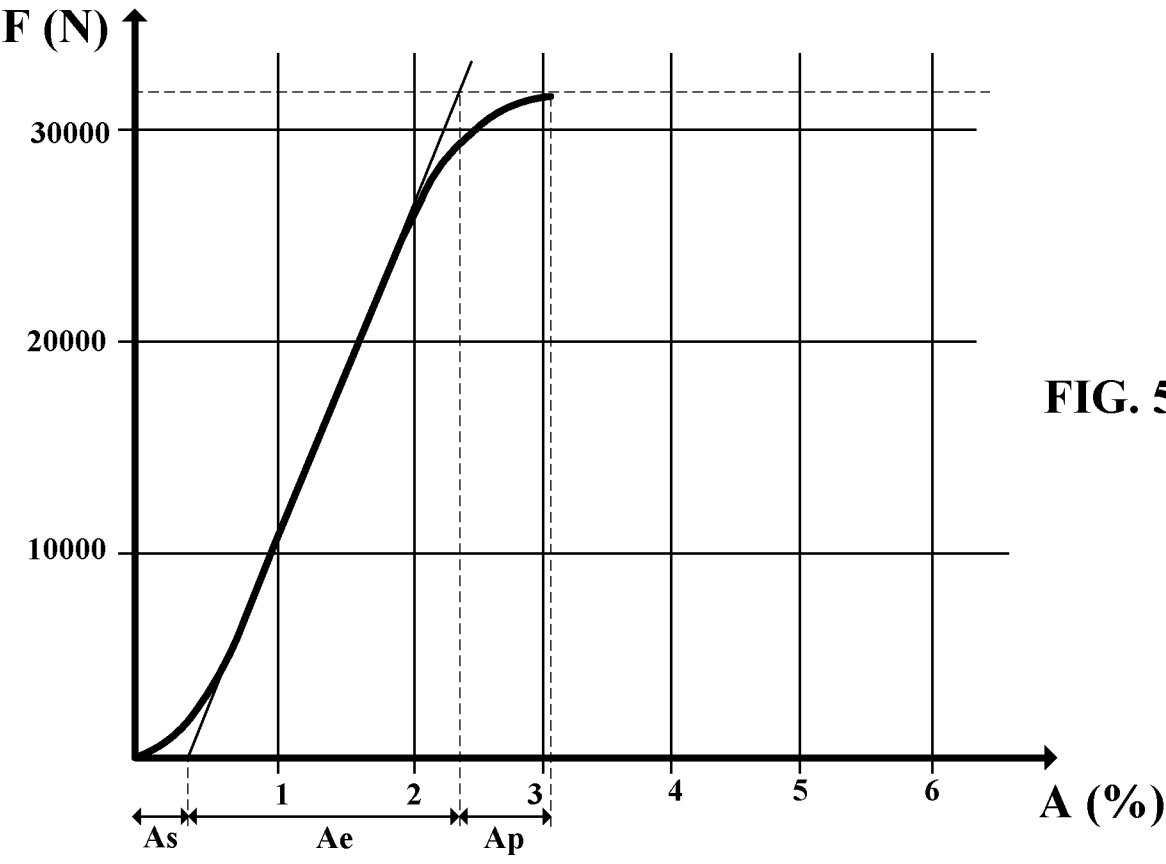
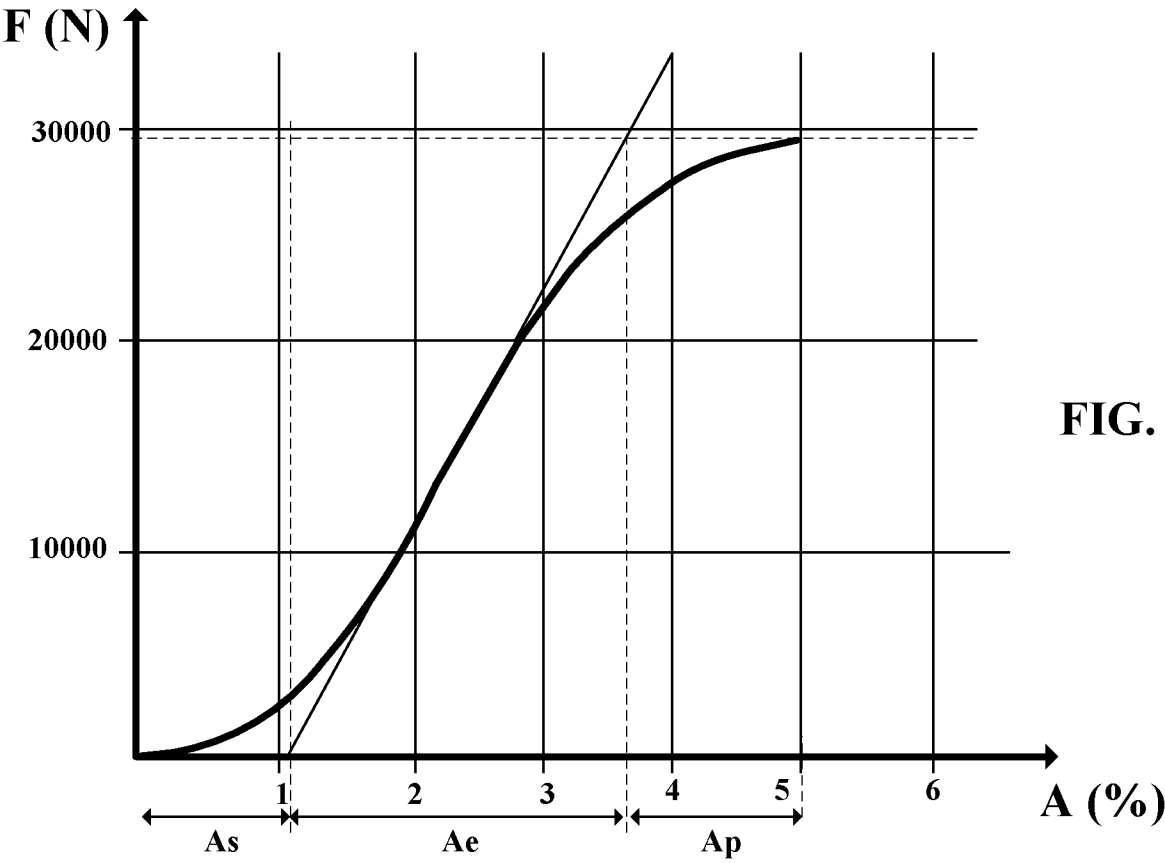


FIG. 3



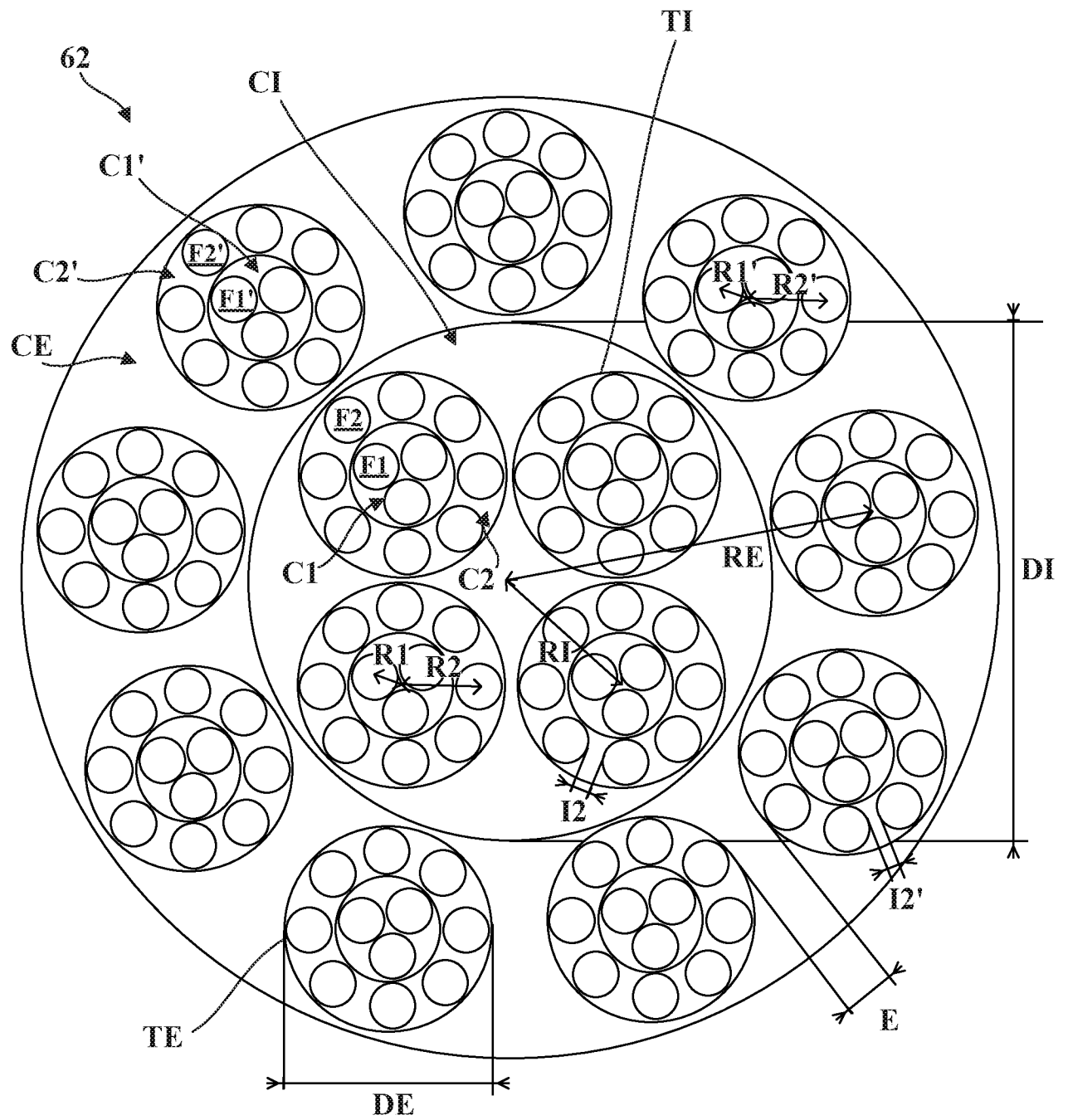


FIG. 6

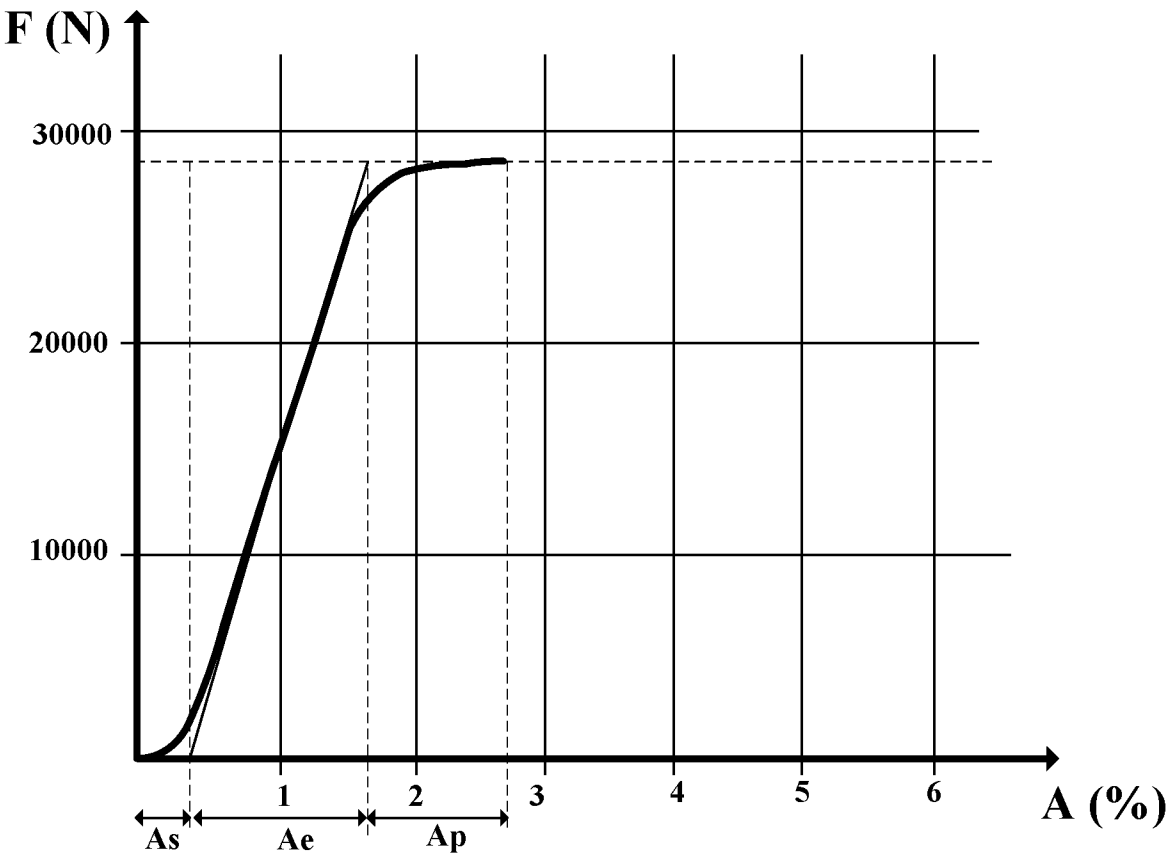


FIG. 7

6/8

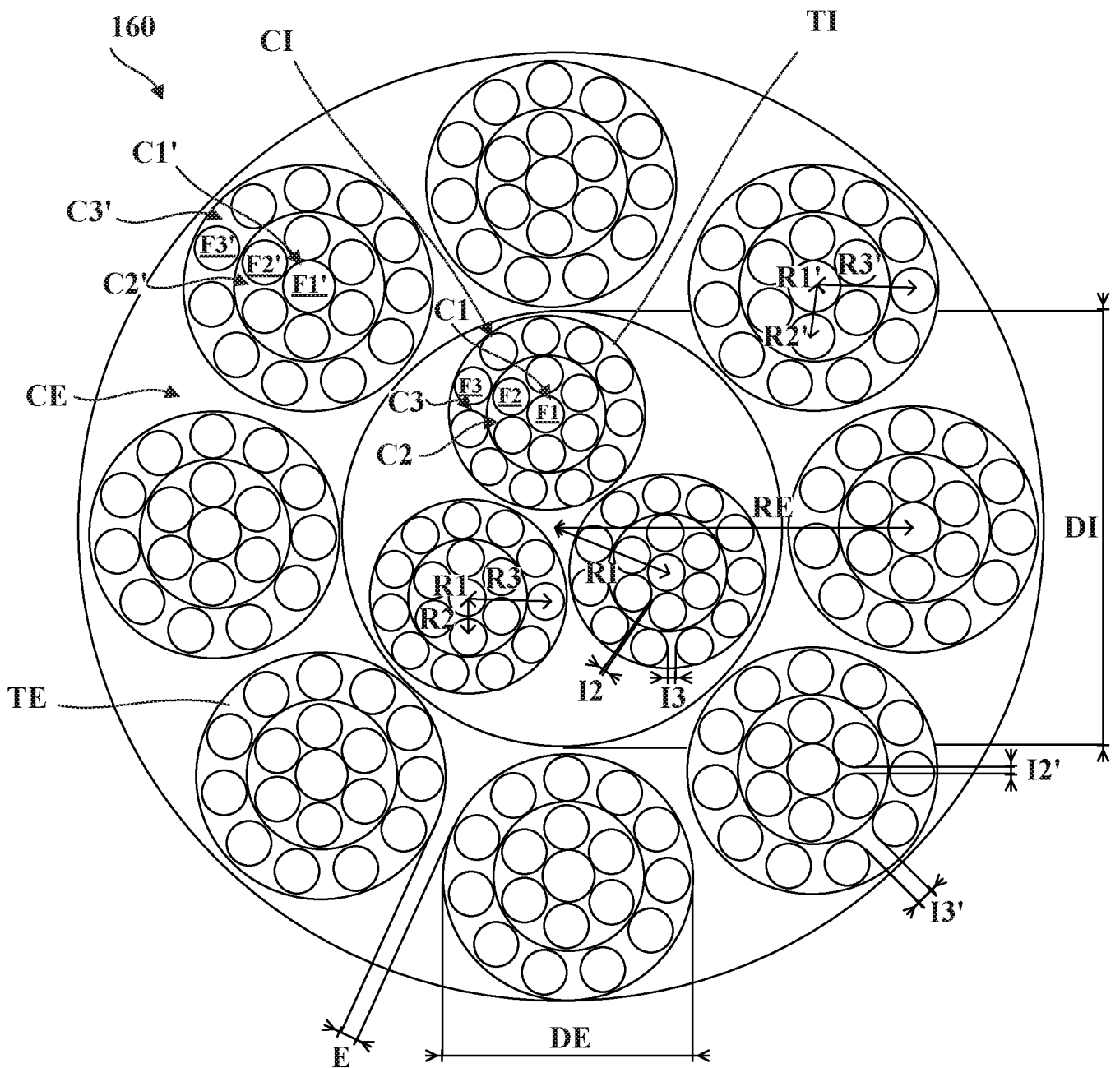


FIG. 8

7/8

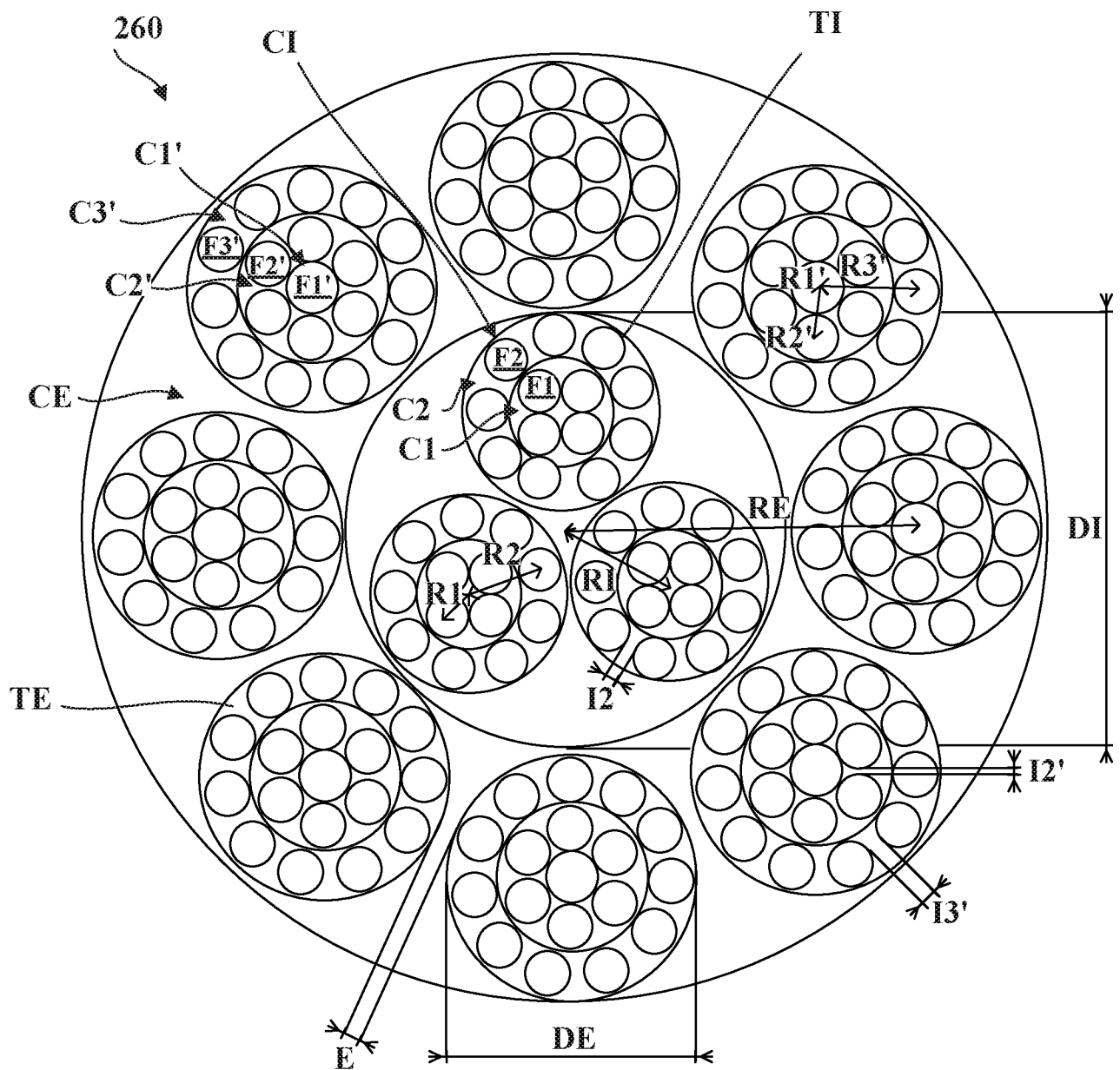


FIG. 9

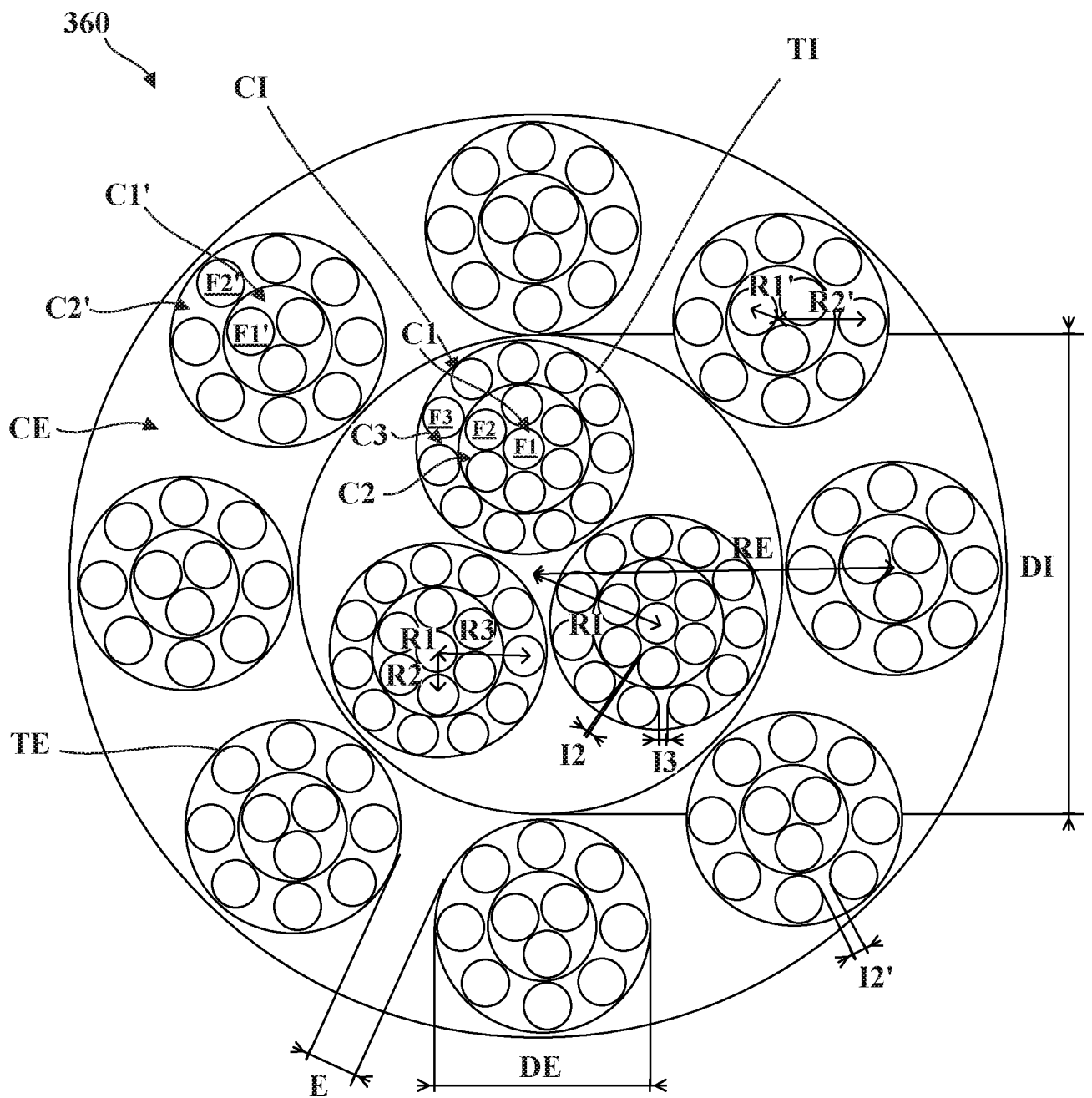


FIG. 10

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/FR2018/053416****A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****D07B 1/06**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

D07B; B60C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                            | Relevant to claim No. |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Y         | WO 2014048897 A1 (MICHELIN & CIE [FR]; MICHELIN RECH TECH [CH]) 03 April 2014 (2014-04-03)<br>paragraphs [0001], [0002], [0018], [0019], [0021]               | 1-3,5-15              |
| Y         | WO 2013174897 A1 (MICHELIN & CIE [FR]; MICHELIN RECH TECH [CH]) 28 November 2013 (2013-11-28)<br>paragraphs [0001], [0033]; figure 1                          | 1,5,7,9,11-15         |
| Y         | DE 6937562 U (GUSTAV WOLF SEIL UND DRAHTWERK [DE]) 22 January 1970 (1970-01-22)<br>page 2, lines 23-25; figure 4<br>page 4, lines 23-25<br>page 5, lines 8-20 | 1-3,5-12,14,15        |
| Y         | FR 2947574 A1 (MICHELIN SOC TECH [FR]; MICHELIN RECH TECH [CH]) 07 January 2011 (2011-01-07)<br>page 1, lines 5-7; claims 1,2033                              | 1,11,12,14,15         |



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

**26 March 2019**

Date of mailing of the international search report

**04 April 2019**

Name and mailing address of the ISA/EP

**European Patent Office**  
**p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk**  
**Netherlands**

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

**Uhlig, Robert**

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/FR2018/053416**

| Patent document<br>cited in search report |            |    | Publication date<br>(day/month/year) | Patent family member(s) |              |    | Publication date<br>(day/month/year) |
|-------------------------------------------|------------|----|--------------------------------------|-------------------------|--------------|----|--------------------------------------|
| WO                                        | 2014048897 | A1 | 03 April 2014                        | AU                      | 2013322782   | A1 | 16 April 2015                        |
|                                           |            |    |                                      | BR                      | 112015006713 | A2 | 04 July 2017                         |
|                                           |            |    |                                      | CL                      | 2015000735   | A1 | 02 October 2015                      |
|                                           |            |    |                                      | CN                      | 104661833    | A  | 27 May 2015                          |
|                                           |            |    |                                      | EP                      | 2900486      | A1 | 05 August 2015                       |
|                                           |            |    |                                      | FR                      | 2995822      | A1 | 28 March 2014                        |
|                                           |            |    |                                      | JP                      | 6261095      | B2 | 17 January 2018                      |
|                                           |            |    |                                      | JP                      | 2015534521   | A  | 03 December 2015                     |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 2015251497   | A1 | 10 September 2015                    |
|                                           |            |    |                                      | WO                      | 2014048897   | A1 | 03 April 2014                        |
| WO                                        | 2013174897 | A1 | 28 November 2013                     | CN                      | 104334793    | A  | 04 February 2015                     |
|                                           |            |    |                                      | EP                      | 2855764      | A1 | 08 April 2015                        |
|                                           |            |    |                                      | FR                      | 2990963      | A1 | 29 November 2013                     |
|                                           |            |    |                                      | JP                      | 6131515      | B2 | 24 May 2017                          |
|                                           |            |    |                                      | JP                      | 2015520811   | A  | 23 July 2015                         |
|                                           |            |    |                                      | KR                      | 20150016583  | A  | 12 February 2015                     |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 2015136295   | A1 | 21 May 2015                          |
|                                           |            |    |                                      | WO                      | 2013174897   | A1 | 28 November 2013                     |
| DE                                        | 6937562    | U  | 22 January 1970                      | NONE                    |              |    |                                      |
| FR                                        | 2947574    | A1 | 07 January 2011                      | BR                      | 112012000120 | A2 | 15 March 2016                        |
|                                           |            |    |                                      | CN                      | 102471998    | A  | 23 May 2012                          |
|                                           |            |    |                                      | EA                      | 201270125    | A1 | 30 July 2012                         |
|                                           |            |    |                                      | EP                      | 2449171      | A2 | 09 May 2012                          |
|                                           |            |    |                                      | FR                      | 2947574      | A1 | 07 January 2011                      |
|                                           |            |    |                                      | JP                      | 5840608      | B2 | 06 January 2016                      |
|                                           |            |    |                                      | JP                      | 2012531540   | A  | 10 December 2012                     |
|                                           |            |    |                                      | KR                      | 20120049244  | A  | 16 May 2012                          |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 2012174557   | A1 | 12 July 2012                         |
|                                           |            |    |                                      | WO                      | 2011000963   | A2 | 06 January 2011                      |

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2018/053416

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                          |                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| <b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b><br>INV. D07B1/06<br>ADD.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                          |                                                                  |
| Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                          |                                                                  |
| <b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b><br>Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)<br>D07B B60C                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                          |                                                                  |
| Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                          |                                                                  |
| Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)<br>EPO-Internal, WPI Data                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                          |                                                                  |
| <b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                          |                                                                  |
| Catégorie*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents                                                                           | no. des revendications visées                                    |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | WO 2014/048897 A1 (MICHELIN & CIE [FR];<br>MICHELIN RECH TECH [CH])<br>3 avril 2014 (2014-04-03)<br>alinéas [0001], [0002], [0018], [0019],<br>[0021]                    | 1-3,5-15                                                         |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | WO 2013/174897 A1 (MICHELIN & CIE [FR];<br>MICHELIN RECH TECH [CH])<br>28 novembre 2013 (2013-11-28)<br>alinéas [0001], [0033]; figure 1                                 | 1,5,7,9,<br>11-15                                                |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | DE 69 37 562 U (GUSTAV WOLF SEIL UND<br>DRAHTWERK [DE])<br>22 janvier 1970 (1970-01-22)<br>page 2, lignes 23-25; figure 4<br>page 4, lignes 23-25<br>page 5, lignes 8-20 | 1-3,<br>5-12,14,<br>15                                           |
| -----<br>-/-                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                          |                                                                  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span><input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents</span> <span><input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe</span> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                          |                                                                  |
| * Catégories spéciales de documents cités:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                          |                                                                  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p> <p>"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p> <p>"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p> <p>"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p> <p>"&amp;" document qui fait partie de la même famille de brevets</p> </div> </div> |                                                                                                                                                                          |                                                                  |
| Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                          | Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale |
| 26 mars 2019                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                          | 04/04/2019                                                       |
| Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                          | Fonctionnaire autorisé                                           |
| Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040,<br>Fax: (+31-70) 340-3016                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                          | Uhlig, Robert                                                    |

| C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS |                                                                                                                                                           |                               |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Catégorie*                                      | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents                                                            | no. des revendications visées |
| Y                                               | FR 2 947 574 A1 (MICHELIN SOC TECH [FR];<br>MICHELIN RECH TECH [CH])<br>7 janvier 2011 (2011-01-07)<br>page 1, lignes 5-7; revendications 1,2033<br>----- | 1,11,12,<br>14,15             |

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2018/053416

| Document brevet cité<br>au rapport de recherche | Date de<br>publication | Membre(s) de la<br>famille de brevet(s) | Date de<br>publication |
|-------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------|------------------------|
| WO 2014048897                                   | A1                     | 03-04-2014                              |                        |
|                                                 |                        | AU 2013322782 A1                        | 16-04-2015             |
|                                                 |                        | BR 112015006713 A2                      | 04-07-2017             |
|                                                 |                        | CL 2015000735 A1                        | 02-10-2015             |
|                                                 |                        | CN 104661833 A                          | 27-05-2015             |
|                                                 |                        | EP 2900486 A1                           | 05-08-2015             |
|                                                 |                        | FR 2995822 A1                           | 28-03-2014             |
|                                                 |                        | JP 6261095 B2                           | 17-01-2018             |
|                                                 |                        | JP 2015534521 A                         | 03-12-2015             |
|                                                 |                        | US 2015251497 A1                        | 10-09-2015             |
|                                                 |                        | WO 2014048897 A1                        | 03-04-2014             |
| WO 2013174897                                   | A1                     | 28-11-2013                              |                        |
|                                                 |                        | CN 104334793 A                          | 04-02-2015             |
|                                                 |                        | EP 2855764 A1                           | 08-04-2015             |
|                                                 |                        | FR 2990963 A1                           | 29-11-2013             |
|                                                 |                        | JP 6131515 B2                           | 24-05-2017             |
|                                                 |                        | JP 2015520811 A                         | 23-07-2015             |
|                                                 |                        | KR 20150016583 A                        | 12-02-2015             |
|                                                 |                        | US 2015136295 A1                        | 21-05-2015             |
|                                                 |                        | WO 2013174897 A1                        | 28-11-2013             |
| DE 6937562                                      | U                      | 22-01-1970                              | AUCUN                  |
| FR 2947574                                      | A1                     | 07-01-2011                              |                        |
|                                                 |                        | BR 112012000120 A2                      | 15-03-2016             |
|                                                 |                        | CN 102471998 A                          | 23-05-2012             |
|                                                 |                        | EA 201270125 A1                         | 30-07-2012             |
|                                                 |                        | EP 2449171 A2                           | 09-05-2012             |
|                                                 |                        | FR 2947574 A1                           | 07-01-2011             |
|                                                 |                        | JP 5840608 B2                           | 06-01-2016             |
|                                                 |                        | JP 2012531540 A                         | 10-12-2012             |
|                                                 |                        | KR 20120049244 A                        | 16-05-2012             |
|                                                 |                        | US 2012174557 A1                        | 12-07-2012             |
|                                                 |                        | WO 2011000963 A2                        | 06-01-2011             |