

(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  
6 janvier 2011 (06.01.2011)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2011/000950 A2**

(51) Classification internationale des brevets :

D07B 1/06 (2006.01) B60C 9/00 (2006.01)  
D07B 1/16 (2006.01) B60C 9/08 (2006.01)  
D07B 7/14 (2006.01)

[FR/FR]; 9 rue Maurice Weiss, F-63000 Clermont-Ferrand (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/EP2010/059486

(74) Mandataire : **RIBIERE, Joël**; Manufacture Française des Pneumatiques Michelin, 23, place des Carmes-Déchaux, SGD/LG/PI - F35 - Ladoux, F-63040 Clermont-Ferrand Cedex 9 (FR).

(22) Date de dépôt international :

2 juillet 2010 (02.07.2010)

(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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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.

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

0954598 3 juillet 2009 (03.07.2009) FR

(71) Déposants (pour tous les États désignés sauf US) :

**SOCIETE DE TECHNOLOGIE MICHELIN** [FR/FR]; 23, rue Breschet, F-63000 Clermont-Ferrand (FR).  
**MICHELIN RECHERCHE ET TECHNIQUE S.A.** [CH/CH]; Route Louis Braille 10, CH-1763 Granges-Paccot (CH).

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, SE, SI, SK,

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) :

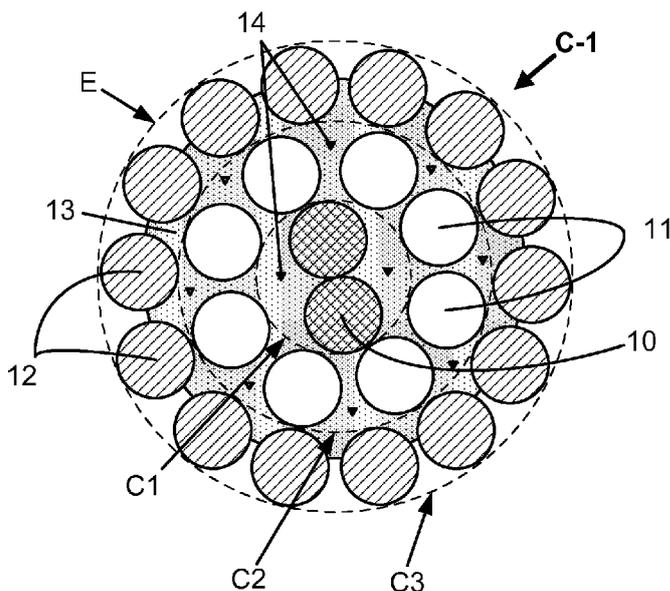
**TOUSSAIN, Jérémie** [FR/FR]; 2 Rue Ribeyre Jaffaux, F-63000 Clermont-Ferrand (FR). **POTTIER, Thibaud**

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : THREE-LAYER STEEL CORD THAT IS RUBBERIZED IN SITU AND HAS A 2+M+N STRUCTURE

(54) Titre : CABLE METALLIQUE A TROIS COUCHES GOMME IN SITU DE CONSTRUCTION 2+M+N

**Fig. 1**



(57) Abstract : The invention relates to a steel cord (C-1) with three layers (C1, C2, C3) and a 2+M+N structure, that is rubberized in situ and comprises: a first layer or central layer (C1) formed by two wires (10) of diameter  $d_1$  assembled in a helix at a pitch  $p_1$ ; a second layer (C2) formed by M wires (11) of diameter  $d_2$ , which are wound around the central layer (C1) in a helix at a pitch  $p_2$ ; and a third layer (C3) formed by N wires (12) of diameter  $d_3$ , which are wound around the second layer in a helix at a pitch  $p_3$ . The cord is characterized in that it has the following characteristics: ( $d_1, d_2, d_3, p_1, p_2$  and  $p_3$  being expressed in mm):  $-0.08 \leq d_1 \leq 0.5$ ;  $-0.08 \leq d_2 \leq 0.5$ ;  $-0.08 \leq d_3 \leq 0.5$ ;  $-3 < p_1 < 50$ ;  $-6 < p_2 < 50$ ;  $-9 < p_3 < 50$ ; for any 3 cm-length of cord, a rubber composition known as "filling rubber" is present in each of the capillaries defined by the 2 wires of the first layer (C1) and the M wires of the second layer and by the M wires of the second layer (C2) and the N wires of the third layer (C3); and the level of filling rubber in the cord is between 10 and 50 mg per gram of cord. The invention also relates to the method of producing one such cord and to a multi-strand cord, in which at least one of the strands is a three-layer steel cord (C-1) rubberized in situ in accordance with the invention.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2011/000950 A2

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). **Publiée :**

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport (règle 48.2.g)*

---

Câble métallique (C-1) à trois couches (C1, C2, C3) de construction 2+M+N, gommé in situ, comportant une première couche ou couche centrale (C1) constituée de deux fils (10) de diamètre  $d_1$  assemblés en hélice selon un pas  $p_1$ , couche centrale (C1) autour de laquelle sont enroulés en hélice selon un pas  $p_2$ , en une deuxième couche (C2), M fils (11) de diamètre  $d_2$ , deuxième couche autour de laquelle sont enroulés en hélice selon un pas  $p_3$ , en une troisième couche (C3), N fils (12) de diamètre  $d_3$ , ledit câble étant caractérisé en ce qu'il présente les caractéristiques suivantes ( $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ ,  $p_1$ ,  $p_2$  et  $p_3$  étant exprimés en mm) : -  $0,08 \leq d_1 \leq 0,50$ ; -  $0,08 \leq d_2 \leq 0,50$ ; -  $0,08 \leq d_3 \leq 0,50$ ; -  $3 < p_1 < 50$ ; -  $6 < p_2 < 50$ ; -  $9 < p_3 < 50$ ; - sur toute longueur de câble égale à 3 cm, une composition de caoutchouc dite "gomme de remplissage" est présente dans chacun des capillaires délimités d'une part par les 2 fils de la première couche (C1) et les M fils de la deuxième couche (C2), d'autre part par les M fils de la deuxième couche (C2) et les N fils de la troisième couche (C3); - le taux de gomme de remplissage dans le câble est compris entre 10 et 50 mg par gramme de câble. Procédé de fabrication d'un tel câble. Câble multitorons dont au moins un des torons est un câble métallique (C-1) à trois couches gommé in situ, conforme à l'invention.

**CÂBLE MÉTALLIQUE À TROIS COUCHES GOMMÉ IN SITU  
DE CONSTRUCTION 2+M+N**

5 La présente invention est relative aux câbles métalliques à trois couches, utilisables notamment pour le renforcement d'articles en caoutchouc tels que des pneumatiques pour véhicules industriels.

Elle est plus particulièrement relative aux câbles métalliques à trois couches du type  
10 « gommés in situ », c'est-à-dire gommés de l'intérieur, pendant leur fabrication même, par du caoutchouc ou une composition de caoutchouc à l'état non réticulé (cru).

Cette invention est plus précisément relative aux câbles métalliques à trois couches de construction spécifique 2+M+N, et à leur utilisation dans les armatures de carcasse, encore  
15 appelées « carcasses », des pneumatiques pour véhicules industriels.

Un pneumatique radial comporte de manière connue une bande de roulement, deux bourrelets inextensibles, deux flancs reliant les bourrelets à la bande de roulement et une ceinture disposée circonférentiellement entre l'armature de carcasse et la bande de roulement. Cette  
20 armature de carcasse est constituée de manière connue d'au moins une nappe (ou "couche") de caoutchouc renforcée par des éléments de renforcement ("renforts") tels que des câblés ou des monofilaments, généralement du type métalliques dans le cas de pneumatiques pour véhicules industriels.

25 Pour le renforcement des armatures de carcasse ci-dessus, on utilise généralement des câbles d'acier ("*steel cords*") dits "câbles à couches" ("*layered cords*") constitués d'une couche centrale et d'une ou plusieurs couches de fils concentriques disposées autour de cette couche centrale. Les câbles à trois couches les plus utilisés sont essentiellement des câbles de construction L+M+N, formés d'une couche centrale de L fil(s) entouré d'au moins une couche  
30 de M fils elle-même entourée d'une couche externe de N fils.

Parmi les câbles à trois couches utilisables aujourd'hui dans les armatures de carcasse de pneumatiques pour véhicules industriels, dans les cas où les plus hautes résistances mécaniques sont visées et en conséquence un grand nombre de fils est nécessaire, sont  
35 notamment connus des câbles de construction 2+M+N constitués d'une couche centrale de 2 fils entourée d'une couche intermédiaire de M fils elle-même entourée d'une couche externe de N fils, l'ensemble pouvant être éventuellement fretté par un fil de frette externe enroulé en hélice autour de la couche externe.

De manière bien connue, ces câbles à couches sont soumis à des contraintes importantes lors du roulage des pneumatiques, notamment à des flexions ou variations de courbure répétées induisant au niveau des fils des frottements, notamment par suite des contacts entre couches adjacentes, et donc de l'usure, ainsi que de la fatigue ; ils doivent donc présenter une haute  
5 résistance aux phénomènes dits de "fatigue-fretting".

Il est particulièrement important en outre qu'ils soient imprégnés autant que possible par le caoutchouc, que cette matière pénètre au mieux dans tous les espaces entre les fils constituant les câbles. En effet, si cette pénétration est insuffisante, il se forme alors des canaux vides, le  
10 long des câbles, et les agents corrosifs tels que l'eau ou même l'oxygène de l'air, susceptibles de pénétrer dans les pneumatiques par exemple à la suite de coupures, cheminent le long de ces canaux vides jusque dans la carcasse du pneumatique. La présence de cette humidité joue un rôle important en provoquant de la corrosion et en accélérant les processus de dégradation  
15 ci-dessus (phénomènes dits de "fatigue-corrosion"), par rapport à une utilisation en atmosphère sèche.

Tous ces phénomènes de fatigue que l'on regroupe généralement sous le terme générique de "fatigue-fretting-corrosion" sont à l'origine d'une dégénérescence progressive des propriétés  
20 mécaniques des câbles et peuvent affecter, pour les conditions de roulage les plus sévères, la durée de vie de ces derniers.

Pour pallier les inconvénients ci-dessus, la demande WO 2005/071157 a proposé des câbles à trois couches de construction L+M+N, avec L variant de 1 à 4, M de 3 à 12 et N de 8 à 20, en  
25 particulier de construction 1+M+N, dont une des caractéristiques essentielles est qu'une gaine constituée d'une composition de caoutchouc recouvre au moins la couche intermédiaire constituée des M fils, la couche centrale des L fils pouvant être elle-même recouverte ou non de caoutchouc. Grâce à cette architecture spécifique, non seulement une excellente  
30 pénétrabilité par le caoutchouc est obtenue, limitant les problèmes de corrosion, mais encore les propriétés d'endurance en fatigue-fretting sont notablement améliorées par rapport aux câbles de l'art antérieur. La longévité des pneumatiques pour véhicules industriels et celle de leurs armatures de carcasse en sont ainsi très sensiblement améliorées.

Toutefois, les procédés décrits pour la fabrication de ces câbles, ainsi que les câbles qui en  
35 sont issus, ne sont pas dépourvus d'inconvénients.

Tout d'abord, ces câbles à trois couches sont obtenus en plusieurs étapes qui présentent l'inconvénient d'être discontinues, d'abord par réalisation d'un câble intermédiaire L+M, puis  
40 par gainage via une tête d'extrusion de ce câble intermédiaire, enfin par une opération finale de câblage des N fils restants autour de l'âme (L+M) ainsi gainée, pour formation de la couche externe. Pour éviter le problème de "collant à cru" de la gaine de caoutchouc avant

câblage de la couche externe autour de l'âme, doit être utilisé en outre un film intercalaire en matière plastique lors des opérations intermédiaires de bobinage et débobinage. Toutes ces manipulations successives sont pénalisantes du point de vue industriel et antinomiques de la recherche de cadences de fabrication élevées.

5

D'autre part, si l'on veut pouvoir garantir un taux de pénétration élevé par le caoutchouc à l'intérieur du câble pour l'obtention d'une perméabilité à l'air du câble, selon son axe, qui soit aussi faible que possible, il s'est avéré nécessaire selon ces procédés de l'art antérieur, d'utiliser des quantités relativement importantes de caoutchouc lors du gainage. De telles quantités conduisent à un débordement parasite, plus ou moins prononcé, du caoutchouc cru à la périphérie du câble terminé de fabrication.

10

Or, comme cela a déjà été évoqué ci-dessus, en raison du fort pouvoir collant que possède le caoutchouc à l'état cru (c'est-à-dire non réticulé), un tel débordement parasite génère à son tour des inconvénients notables lors de la manipulation ultérieure du câble, en particulier lors des opérations de calandrage qui vont suivre pour l'incorporation du câble à une bande de caoutchouc elle-même à l'état cru, avant les opérations ultimes de fabrication du bandage pneumatique et de cuisson finale.

15

Tous les inconvénients exposés ci-dessus ralentissent bien entendu les cadences industrielles et pénalisent le coût final des câbles et des pneumatiques qu'ils renforcent.

20

Un autre inconvénient qui vient s'ajouter, cette fois propre aux câbles de construction 2+M+N, est que les 2 fils de la couche centrale restent au contact l'un de l'autre dans le câble, ce qui, de manière connue, est préjudiciable notamment à leur endurance en fatigue-corrosion.

25

Poursuivant leurs recherches, les Demanderesses ont découvert un câble à trois couches amélioré, de construction 2+M+N, obtenu grâce à un procédé de fabrication spécifique, qui permet de pallier les inconvénients précités.

30

En conséquence, un premier objet de l'invention est un câble métallique à trois couches (C1, C2, C3) de construction 2+M+N, gommé in situ, comportant une première couche ou couche centrale (C1) constituée de deux fils de diamètre  $d_1$  enroulés en hélice selon un pas  $p_1$ , première couche autour de laquelle sont enroulés en hélice selon un pas  $p_2$ , en une deuxième couche ou couche intermédiaire (C2), M fils de diamètre  $d_2$ , deuxième couche autour de laquelle sont enroulés en hélice selon un pas  $p_3$ , en une troisième couche ou couche externe (C3), N fils de diamètre  $d_3$ , ledit câble étant caractérisé en ce qu'il présente les caractéristiques suivantes ( $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ ,  $p_1$ ,  $p_2$  et  $p_3$  étant exprimés en mm) :

35

40

- $0,08 \leq d_1 \leq 0,50$  ;
- $0,08 \leq d_2 \leq 0,50$  ;
- $0,08 \leq d_3 \leq 0,50$  ;
- $3 < p_1 < 50$  ;
- 5 -  $6 < p_2 < 50$  ;
- $9 < p_3 < 50$  ;
- sur toute longueur de câble égale à 3 cm, une composition de caoutchouc dite "gomme de remplissage" est présente dans chacun des capillaires délimités d'une part par les 2 fils de la première couche (C1) et les M fils de la deuxième couche (C2), d'autre part par les M fils de la deuxième couche (C2) et les N fils de la
- 10 - troisième couche (C3) ;
- le taux de gomme de remplissage dans le câble est compris entre 10 et 50 mg par gramme de câble.

15 Ce câble à trois couches de l'invention, comparé aux câbles à trois couches gommés in situ de l'art antérieur, a l'avantage notable de comporter une quantité réduite de gomme de remplissage, ce qui lui garantit une meilleure compacité, cette gomme étant en outre répartie uniformément à l'intérieur du câble, à l'intérieur de chacun de ses capillaires, lui conférant ainsi une imperméabilité optimale selon son axe.

20

L'invention concerne également l'utilisation d'un tel câble pour le renforcement d'articles ou de produits semi-finis en caoutchouc, par exemple des nappes, des tuyaux, des courroies, des bandes transporteuses, des pneumatiques.

25 Le câble de l'invention est tout particulièrement destiné à être utilisé comme élément de renforcement d'une armature de carcasse de pneumatiques de véhicules industriels (i.e., porteurs de lourdes charges) choisis parmi camionnettes et véhicules dits "Poids-lourd" c'est-à-dire véhicules métro, bus, engins de transport routier tels que camions, tracteurs, remorques, ou encore véhicules hors-la-route, engins agricoles ou de génie civil, et tout autre

30 type de véhicules de transport ou de manutention.

L'invention concerne en outre ces articles ou produits semi-finis en caoutchouc eux-mêmes lorsqu'ils sont renforcés par un câble conforme à l'invention, en particulier les pneumatiques destinés aux véhicules industriels tels que camionnettes ou Poids-lourd.

35

L'invention concerne également un procédé de fabrication du câble de l'invention, ledit procédé comportant au moins les étapes suivantes :

- une première étape d'assemblage par retordage des deux fils de la couche centrale pour formation en un premier point dit « premier point d'assemblage » de la première couche ou couche centrale (C1) ;
- 5 - une deuxième étape d'assemblage par retordage des M fils autour de la couche centrale (C1), pour formation en un deuxième point dit « deuxième point d'assemblage » d'un câble intermédiaire (C1+C2) dit « toron d'âme », de construction 2+M ;
- en aval du premier point d'assemblage, une étape de gainage de la couche centrale (C1) et/ou du toron d'âme (C1+C2) par de la gomme de remplissage à l'état cru, ce gainage étant conduit soit en amont, soit en aval, soit à la fois en amont et en aval du  
10 deuxième point d'assemblage ;
- suivie d'une troisième étape d'assemblage par retordage ou câblage des N fils autour du toron d'âme ainsi gainé ;
- puis d'une étape d'équilibrage final des torsions.

15

L'invention ainsi que ses avantages seront aisément compris à la lumière de la description et des exemples de réalisation qui suivent, ainsi que des figures 1 à 4 relatives à ces exemples qui schématisent, respectivement :

- 20 - en coupe transversale, un câble de construction 2+8+14 conforme à l'invention, gommé in situ, du type à couches cylindriques (Fig. 1) ;
- en coupe transversale, un câble de construction 2+8+14 conventionnel, non gommé in situ, également du type à couches cylindriques (Fig. 2) ;
- un exemple d'installation de retordage et gommage in situ utilisable pour la  
25 fabrication de câbles conformes à l'invention (Fig. 3) ;
- en coupe radiale, une enveloppe de pneumatique Poids-lourd à armature de carcasse radiale, conforme ou non à l'invention dans cette représentation générale (Fig. 4).

## 30 I. MESURES ET TESTS

### I-1. Mesures dynamométriques

- 35 Pour ce qui concerne les fils et câbles métalliques, les mesures de force à la rupture notée  $F_m$  (charge maximale en N), de résistance à la rupture notée  $R_m$  (en MPa) et d'allongement à la rupture noté  $A_t$  (allongement total en %) sont effectuées en traction selon la norme ISO 6892 de 1984.

Concernant les compositions de caoutchouc diénique, les mesures de module sont effectuées en traction, sauf indication différente selon la norme ASTM D 412 de 1998 (éprouvette "C") : on mesure en seconde élongation (c'est-à-dire après un cycle d'accommodation) le module sécant "vrai" (c'est-à-dire ramené à la section réelle de l'éprouvette) à 10% d'allongement, noté E10 et exprimé en MPa (conditions normales de température et d'hygrométrie selon la norme ASTM D 1349 de 1999).

#### I-2. Test de perméabilité à l'air

Ce test permet de déterminer la perméabilité longitudinale à l'air des câbles testés, par mesure du volume d'air traversant une éprouvette sous pression constante pendant un temps donné. Le principe d'un tel test, bien connu de l'homme du métier, est de démontrer l'efficacité du traitement d'un câble pour le rendre imperméable à l'air ; il a été décrit par exemple dans la norme ASTM D2692-98.

Le test est ici réalisé soit sur des câbles extraits des pneumatiques ou des nappes de caoutchouc qu'ils renforcent, donc déjà enrobés de l'extérieur par du caoutchouc à l'état cuit, soit sur des câbles bruts de fabrication, ayant subi un enrobage et une cuisson ultérieurs.

Dans le second cas, les câbles bruts doivent être, préalablement au test, enrobés de l'extérieur par une gomme dite d'enrobage. Pour cela, une série de 10 câbles disposés parallèlement (distance inter-câble : 20 mm) est placée entre deux skims (deux rectangles de 80 x 200 mm) d'une composition de caoutchouc à l'état cru, chaque skim ayant une épaisseur de 3,5 mm ; le tout est alors bloqué dans un moule, chacun des câbles étant maintenu sous une tension suffisante (par exemple 2 daN) pour garantir sa rectitude lors de la mise en place dans le moule, à l'aide de modules de serrage ; puis on procède à la vulcanisation (cuisson) pendant 40 min à une température de 140°C et sous une pression de 15 bar (piston rectangulaire de 80 x 200 mm). Après quoi, on démoule l'ensemble et on découpe 10 éprouvettes de câbles ainsi enrobés, sous forme de parallélépipèdes de dimensions appropriées (par exemple 7x7x20 ou 7x7x30 mm), pour caractérisation.

On utilise comme gomme d'enrobage une composition de caoutchouc conventionnelle pour pneumatique, à base de caoutchouc naturel (peptisé) et de noir de carbone N330 (65 pce), comportant en outre les additifs usuels suivants: soufre (7 pce), accélérateur sulfénamide (1 pce), ZnO (8 pce), acide stéarique (0,7 pce), antioxydant (1,5 pce), naphtéate de cobalt (1,5 pce) (pce signifiant parties en poids pour cent parties d'élastomère) ; le module E10 de la gomme d'enrobage est de 10 MPa environ.

Le test est réalisé sur une longueur prédéterminée (par exemple 3 cm voire 2 cm) de câble, enrobé donc par sa composition de caoutchouc (ou gomme d'enrobage) environnante à l'état

cuit, de la manière suivante : on envoie de l'air à l'entrée du câble, sous une pression de 1 bar, et on mesure le volume d'air à la sortie, à l'aide d'un débitmètre (calibré par exemple de 0 à 500 cm<sup>3</sup>/min). Pendant la mesure, l'échantillon de câble est bloqué dans un joint étanche comprimé (par exemple un joint en mousse dense ou en caoutchouc) de telle manière que  
5 seule la quantité d'air traversant le câble d'une extrémité à l'autre, selon son axe longitudinal, est prise en compte par la mesure ; l'étanchéité du joint étanche lui-même est contrôlée préalablement à l'aide d'une éprouvette de caoutchouc pleine, c'est-à-dire sans câble.

Le débit d'air moyen mesuré (moyenne sur les 10 éprouvettes) est d'autant plus faible que  
10 l'imperméabilité longitudinale du câble est élevée. La mesure étant faite avec une précision de  $\pm 0,2$  cm<sup>3</sup>/min, les valeurs mesurées inférieures ou égales à 0,2 cm<sup>3</sup>/min sont considérées comme nulles ; elles correspondent à un câble qui peut être qualifié d'étanche (totalement étanche) à l'air selon son axe (i.e., dans sa direction longitudinale).

### 15 I-3. Taux de gomme de remplissage

La quantité de gomme de remplissage est mesurée par différence entre le poids du câble initial (donc gommé in situ) et le poids du câble (donc celui de ses fils) dont la gomme de remplissage a été éliminée par un traitement électrolytique approprié.

20

Un échantillon de câble (longueur 1 m), bobiné sur lui-même pour réduire son encombrement, constitue la cathode d'un électrolyseur (reliée à la borne négative d'un générateur), tandis que l'anode (reliée à la borne positive) est constituée d'un fil de platine. L'électrolyte consiste en une solution aqueuse (eau déminéralisée) comportant 1 mole par  
25 litre de carbonate de sodium.

L'échantillon, plongé complètement dans l'électrolyte, est mis sous tension pendant 15 min sous un courant de 300 mA. Le câble est ensuite retiré du bain, rincé abondamment avec de l'eau. Ce traitement permet à la gomme de se détacher facilement du câble (si ce n'est pas le  
30 cas, on continue l'électrolyse pendant quelques minutes). On élimine soigneusement la gomme, par exemple par simple essuyage à l'aide d'un tissu absorbant, tout en détordant un à un les fils du câble. Les fils sont de nouveau rincés à l'eau puis plongés dans un bécher contenant un mélange d'eau déminéralisée (50%) et d'éthanol (50%) ; le bécher est plongé dans une cuve à ultrasons pendant 10 min. Les fils ainsi dépourvus de toute trace de gomme  
35 sont retirés du bécher, séchés sous un courant d'azote ou d'air, et enfin pesés.

On en déduit par le calcul le taux de gomme de remplissage dans le câble, exprimé en mg (milligramme) de gomme de remplissage par g (gramme) de câble initial, et moyenné sur 10 mesures (c'est-à-dire sur 10 mètres de câble au total).

40

## II. DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

5 Dans la présente description, sauf indication expresse différente, tous les pourcentages (%) indiqués sont des % massiques.

D'autre part, tout intervalle de valeurs désigné par l'expression "entre a et b" représente le domaine de valeurs allant de plus de a à moins de b (c'est-à-dire bornes a et b exclues) tandis que tout intervalle de valeurs désigné par l'expression "de a à b" signifie le domaine de valeurs allant de a jusqu'à b (c'est-à-dire incluant les bornes strictes a et b).

### II-1. Câble de l'invention

15 Le câble métallique de l'invention comporte donc trois couches concentriques :

- une première couche ou couche centrale (C1) constituée de 2 fils de diamètre  $d_1$  assemblés en hélice selon un pas  $p_1$  ;
- une deuxième couche (C2) comportant M fils de diamètre  $d_2$  assemblés en hélice, selon un pas  $p_2$ , autour de la première couche ;
- une troisième couche (C3) comportant N fils de diamètre de diamètre  $d_3$  assemblés en hélice, selon un pas  $p_3$ , autour de la deuxième couche.

De manière connue, la première et la deuxième couches assemblées (C1+C2) constituent ce que l'on a coutume d'appeler l'âme du câble, support de la couche la plus externe (C3).

Ce câble de l'invention présente en outre les caractéristiques suivantes ( $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ ,  $p_1$ ,  $p_2$  et  $p_3$  étant exprimés en mm) :

- $0,08 \leq d_1 \leq 0,50$  ;
- $0,08 \leq d_2 \leq 0,50$  ;
- $0,08 \leq d_3 \leq 0,50$  ;
- $3 < p_1 < 50$  ;
- $6 < p_2 < 50$  ;
- $9 < p_3 < 50$  ;
- sur toute longueur de câble égale à 3 cm, une composition de caoutchouc dite "gomme de remplissage" est présente dans chacun des capillaires délimités d'une part par les 2 fils de la première couche (C1) et les M fils de la deuxième couche (C2), d'autre part par les M fils de la deuxième couche (C2) et les N fils de la troisième couche (C3) ;

- le taux de gomme de remplissage dans le câble (C-1) est compris entre 10 et 50 mg par gramme de câble.

5 Ce câble de l'invention peut être qualifié de câble gommé in situ, c'est-à-dire qu'il est gommé de l'intérieur, pendant sa fabrication même (donc à l'état brut de fabrication), par la gomme de remplissage. En d'autres termes, chacun des capillaires ou interstices (les deux termes interchangeables désignant les vides, espaces libres en l'absence de gomme de remplissage) situés entre, délimités par, à la fois les deux fils de la première couche (C1) et les M fils de la deuxième couche (C2), et à la fois les M fils de la deuxième couche (C2) et les N fils de la  
10 troisième couche (C3), est rempli au moins en partie, de manière continue ou non selon l'axe du câble, par la gomme de remplissage.

Selon un mode de réalisation préférentiel, sur toute portion de câble de longueur égale à 3 cm, plus préférentiellement égale à 2 cm, chaque capillaire ou interstice décrit ci-dessus  
15 comporte au moins un bouchon de gomme ; en d'autres termes et préférentiellement, il existe au moins un bouchon de gomme tous les 3 cm, préférentiellement tous les 2 cm de câble, qui obstrue chaque capillaire ou interstice du câble de telle manière que, au test de perméabilité à l'air (selon paragraphe I-2), ce câble de l'invention présente un débit d'air moyen inférieur à 2 cm<sup>3</sup>/min, plus préférentiellement inférieur à ou au plus égal à 0,2 cm<sup>3</sup>/min.

20 Le câble de l'invention a pour autre caractéristique essentielle que son taux de gomme de remplissage est compris entre 10 et 50 mg de gomme par g de câble. En dessous du minimum indiqué, il n'est pas possible de garantir que, sur toute longueur de câble de 3 cm, préférentiellement de 2 cm, la gomme de remplissage soit bien présente, au moins en partie,  
25 dans chacun des interstices ou capillaires du câble pour former préférentiellement au moins un bouchon, tandis qu'au-delà du maximum indiqué, on s'expose aux différents problèmes précédemment décrits dus au débordement de la gomme de remplissage à la périphérie du câble. Pour toutes ces raisons, on préfère que le taux de gomme de remplissage soit compris entre 15 et 45 mg, plus préférentiellement entre 15 et 40 mg de gomme de remplissage par g  
30 de câble.

Un tel taux de gomme de remplissage et son contrôle dans les limites indiquées ci-dessus n'est rendu possible que grâce à la mise en œuvre d'un procédé de retordage-gommage spécifique, adapté à la géométrie du câble, qui sera exposé en détail ultérieurement.

35 La mise en œuvre de ce procédé spécifique, tout en permettant l'obtention d'un câble dont la quantité de gomme de remplissage est maîtrisée, garantit la présence de cloisons internes (continues ou discontinues dans l'axe du câble) ou bouchons de gomme dans les capillaires du câble de l'invention, ceci en un nombre suffisant ; ainsi, le câble de l'invention devient

étanche à la propagation, le long du câble, de tout fluide corrosif tel que l'eau ou l'oxygène de l'air, supprimant ainsi l'effet de mèche décrit en introduction du présent mémoire.

5 Ainsi, la caractéristique suivante est préférentiellement vérifiée : sur toute longueur de câble de 3 cm, préférentiellement de 2 cm, le câble est étanche ou quasiment étanche à l'air dans la direction longitudinale. En d'autres termes, chaque capillaire comporte au moins un bouchon (ou cloison interne) de gomme de remplissage sur cette longueur donnée, de telle manière que ledit câble (une fois enrobé de l'extérieur par un polymère tel que du caoutchouc) est étanche ou quasiment étanche à l'air dans sa direction longitudinale.

10

Au test de perméabilité à l'air décrit au paragraphe I-2, un câble dit "étanche à l'air" dans la direction longitudinale est caractérisé par un débit d'air moyen inférieur ou au plus égal à  $0,2 \text{ cm}^3/\text{min}$  tandis qu'un câble dit "quasiment étanche à l'air" dans la direction longitudinale est caractérisé par un débit d'air moyen inférieur à  $2 \text{ cm}^3/\text{min}$ , de préférence inférieur à  $1 \text{ cm}^3/\text{min}$ .

15

Pour un compromis optimisé entre résistance, faisabilité, rigidité et endurance en flexion du câble, on préfère que les diamètres des fils des couches C1, C2 et C3, que ces fils aient un diamètre identique ou non d'une couche à l'autre, vérifient les relations suivantes ( $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  étant exprimés en mm):

20

- $0,10 \leq d_1 \leq 0,40$  ;
- $0,10 \leq d_2 \leq 0,40$  ;
- $0,10 \leq d_3 \leq 0,40$  .

25

Plus préférentiellement encore, les relations suivantes sont vérifiées :

30

- $0,10 < d_1 \leq 0,30$  ;
- $0,10 < d_2 \leq 0,30$  ;
- $0,10 < d_3 \leq 0,30$  .

Les fils des couches C1, C2 et C3 peuvent avoir un diamètre identique ou différent d'une couche à l'autre ; on utilise de préférence des fils de même diamètre d'une couche à l'autre (soit  $d_1 = d_2 = d_3$ ), ce qui simplifie notamment la fabrication et réduit le coût des câbles.

35

Les pas  $p_2$  et  $p_3$  sont choisis plus préférentiellement dans un domaine de 8 à 25 mm, plus préférentiellement encore dans un domaine de 10 à 20 mm, en particulier lorsque  $d_2 = d_3$ .

Selon un autre mode de réalisation préférentiel, les  $p_2$  et  $p_3$  sont égaux, le pas  $p_1$  pouvant être identique ou différent de  $p_2$ . Selon d'autres modes de réalisation possibles, on a  $p_1 = p_2 \neq p_3$  ou encore  $p_1 \neq p_2 \neq p_3$ .

5 Selon un autre mode de réalisation préférentiel, pour un meilleur compromis entre résistance et flexibilité du câble, les caractéristiques suivantes sont vérifiées :

- $3 < p_1 < 30$  ;
- $6 < p_2 < 30$  ;
- 10 -  $9 < p_3 < 30$  .

On rappelle ici que de manière connue le pas « p » représente la longueur, mesurée parallèlement à l'axe du câble, au bout de laquelle un fil ayant ce pas effectue un tour complet autour dudit axe du câble.

15

Selon un autre mode de réalisation particulier, les trois pas  $p_1$ ,  $p_2$  et  $p_3$  ne sont pas identiques. C'est notamment le cas par exemple pour des câbles à couches du type cylindriques tels que schématisés par exemple à la figure 1, dans lesquels les trois couches C1, C2 et C3 ont préférentiellement pour caractéristique supplémentaire d'être enroulées dans le même sens de torsion (S/S/S ou Z/Z/Z).

20

Dans de tels câbles à couches cylindriques, de manière connue, la compacité est telle que la section transversale de tels câbles a un contour qui est cylindrique et non polygonal, comme illustré à titre d'exemple à la figure 1 (câble à couches cylindriques 2+8+14 conforme à l'invention) ou à la figure 2 (câble à couches cylindriques 2+8+14 témoin, c'est-à-dire non gommé in situ).

25

La troisième couche ou couche externe C3 a pour caractéristique préférentielle d'être une couche saturée, c'est-à-dire que, par définition, il n'existe pas suffisamment de place dans cette couche pour y ajouter au moins un  $(N_{\max}+1)^{\text{ème}}$  fil de diamètre  $d_3$ ,  $N_{\max}$  représentant le nombre maximal de fils enroulables en une couche autour de la deuxième couche C2. Cette construction a pour avantage notable de limiter encore le risque de débordement de gomme de remplissage à sa périphérie et d'offrir, pour un diamètre donné du câble, une résistance plus élevée.

30

35

Toutefois, l'invention s'applique également aux cas où la couche externe (C3) est une couche non saturée.

Ainsi, le nombre N de fils peut varier dans une très large mesure selon le mode de réalisation particulier de l'invention, étant entendu que le nombre maximal  $N_{\max}$  de fils N sera augmenté

40

si leur diamètre  $d_3$  est réduit comparativement au diamètre  $d_2$  des fils de la deuxième couche, afin de conserver préférentiellement la couche externe dans un état saturé.

5 Selon un mode de réalisation préférentiel, la deuxième couche (C2) comporte 6 à 10 fils et la troisième couche (C3) comporte 12 à 16 fils. Sont particulièrement sélectionnés parmi les câbles ci-dessus ceux constitués de fils ayant un diamètre identique de la couche C2 à la couche C3 (soit  $d_2 = d_3$ ).

10 Selon un mode de réalisation plus particulièrement préférentiel, la deuxième couche (C2) comporte 7 ou 8 fils (soit M égal à 7 ou 8) et la troisième couche (C3) comporte 13 ou 14 fils (soit N égal à 13 ou 14). Le câble de l'invention a pour constructions particulièrement préférentielles 2+7+13 et 2+8+14.

15 Le câble de l'invention, comme tous les câbles à couches, peut être de deux types, à savoir du type compact ou du type à couches cylindriques.

Préférentiellement, les trois couches C1, C2 et C3 sont enroulées dans le même sens de torsion, c'est-à-dire soit dans la direction S (disposition "S/S/S"), soit dans la direction Z (disposition "Z/Z/Z"). L'enroulement dans le même sens de ces couches permet  
20 avantageusement de minimiser les frottements entre ces deux couches et donc l'usure des fils qui les constituent.

Plus préférentiellement, elles sont enroulées dans le même sens de torsion et selon un pas  $p_1$  différent de  $p_2$  et/ou  $p_3$ , que  $p_2$  et  $p_3$  soient identiques ou différents, pour l'obtention d'un câble  
25 du type à couches cylindriques tel que représenté par exemple à la figure 1.

La construction du câble de l'invention permet de manière avantageuse la suppression du fil de frette, grâce à une meilleure pénétration du caoutchouc dans sa structure et à l'auto-fretage qui en résulte.  
30

Par câble métallique, on entend par définition dans la présente demande un câble formé de fils constitués majoritairement (c'est-à-dire pour plus de 50% en nombre de ces fils) ou intégralement (pour 100% des fils) d'un matériau métallique.

35 Indépendamment les uns des autres et d'une couche à l'autre, le ou les fils de la couche centrale (C1), les fils de la deuxième couche (C2) et les fils de la troisième couche (C3) sont de préférence en acier, plus préférentiellement en acier au carbone. Mais il est bien entendu possible d'utiliser d'autres aciers, par exemple un acier inoxydable, ou d'autres alliages.

Lorsqu'un acier au carbone est utilisé, sa teneur en carbone (% en poids d'acier) est de préférence comprise entre 0,4% et 1,2%, notamment entre 0,5% et 1,1% ; ces teneurs représentent un bon compromis entre les propriétés mécaniques requises pour le pneumatique et la faisabilité des fils. Il est à noter qu'une teneur en carbone comprise entre 0,5% et 0,6% rend de tels aciers finalement moins coûteux car plus faciles à tréfiler. Un autre mode avantageux de réalisation de l'invention peut consister aussi, selon les applications visées, à utiliser des aciers à faible teneur en carbone, comprise par exemple entre 0,2% et 0,5%, en raison notamment d'un coût plus bas et d'une plus grande facilité de tréfilage.

Le métal ou l'acier utilisé, qu'il s'agisse en particulier d'un acier au carbone ou d'un acier inoxydable, peut être lui-même revêtu d'une couche métallique améliorant par exemple les propriétés de mise en œuvre du câble métallique et/ou de ses éléments constitutifs, ou les propriétés d'usage du câble et/ou du pneumatique eux-mêmes, telles que les propriétés d'adhésion, de résistance à la corrosion ou encore de résistance au vieillissement. Selon un mode de réalisation préférentiel, l'acier utilisé est recouvert d'une couche de laiton (alliage Zn-Cu) ou de zinc ; on rappelle que lors du procédé de fabrication des fils, le revêtement de laiton ou de zinc facilite le tréfilage du fil, ainsi que le collage du fil avec le caoutchouc. Mais les fils pourraient être recouverts d'une fine couche métallique autre que du laiton ou du zinc, ayant par exemple pour fonction d'améliorer la résistance à la corrosion de ces fils et/ou leur adhésion au caoutchouc, par exemple une fine couche de Co, Ni, Al, d'un alliage de deux ou plus des composés Cu, Zn, Al, Ni, Co, Sn.

Les câbles de l'invention sont préférentiellement en acier au carbone et possèdent une résistance en traction ( $R_m$ ) de préférence supérieure à 2500 MPa, plus préférentiellement supérieure à 3000 MPa. L'allongement total à la rupture ( $A_t$ ) du câble, somme de ses allongements structural, élastique et plastique, est de préférence supérieur à 2,0%, plus préférentiellement au moins égal à 2,5%.

L'élastomère (ou indistinctement "caoutchouc", les deux étant considérés comme synonymes) de la gomme de remplissage est préférentiellement un élastomère diénique, c'est-à-dire par définition un élastomère issu au moins en partie (c'est-à-dire un homopolymère ou un copolymère) de monomère(s) diène(s) (i.e., monomère(s) porteur(s) de deux doubles liaisons carbone-carbone, conjuguées ou non). L'élastomère diénique est plus préférentiellement choisi dans le groupe constitué par les polybutadiènes (BR), le caoutchouc naturel (NR), les polyisoprènes de synthèse (IR), les différents copolymères de butadiène, les différents copolymères d'isoprène, et les mélanges de ces élastomères. De tels copolymères sont plus préférentiellement choisis dans le groupe constitué par les copolymères de butadiène-styrène (SBR), que ces derniers soient préparés par polymérisation en émulsion (ESBR) ou en solution (SSBR), les copolymères d'isoprène-butadiène (BIR), les copolymères d'isoprène-styrène (SIR) et les copolymères d'isoprène-butadiène-styrène (SBIR).

Un mode de réalisation préférentiel consiste à utiliser un élastomère "isoprénique", c'est-à-dire un homopolymère ou un copolymère d'isoprène, en d'autres termes un élastomère diénique choisi dans le groupe constitué par le caoutchouc naturel (NR), les polyisoprènes de  
5 synthèse (IR), les différents copolymères d'isoprène et les mélanges de ces élastomères. L'élastomère isoprénique est de préférence du caoutchouc naturel ou un polyisoprène de synthèse du type cis-1,4. Parmi ces polyisoprènes de synthèse, sont utilisés de préférence des polyisoprènes ayant un taux (% molaire) de liaisons cis-1,4 supérieur à 90%, plus préférentiellement encore supérieur à 98%. Selon d'autres modes de réalisation préférentiels,  
10 à l'élastomère isoprénique peut être également associé un autre élastomère diénique tel que, par exemple, un élastomère SBR et/ou BR.

La gomme de remplissage peut contenir un seul ou plusieurs élastomère(s), notamment diénique(s), ce dernier ou ces derniers pouvant être utilisé(s) en association avec tout type de  
15 polymère autre qu'élastomère.

La gomme de remplissage est préférentiellement du type réticulable, c'est-à-dire qu'elle comprend par définition un système de réticulation adapté pour permettre la réticulation de la composition lors de sa cuisson (i.e., son durcissement et non sa fusion) ; ainsi, dans un tel  
20 cas, cette composition de caoutchouc peut être qualifiée d'infusible, du fait qu'elle ne peut pas être fondue par chauffage à quelque température que ce soit. De préférence, dans le cas d'une composition de caoutchouc diénique, le système de réticulation de la gaine de caoutchouc est un système dit de vulcanisation, c'est-à-dire à base de soufre (ou d'un agent donneur de soufre) et d'au moins un accélérateur de vulcanisation. A ce système de  
25 vulcanisation de base peuvent s'ajouter divers activateurs de vulcanisation connus. Le soufre est utilisé à un taux préférentiel compris entre 0,5 et 10 pce, plus préférentiellement compris entre 1 et 8 pce, l'accélérateur de vulcanisation, par exemple un sulfénamide, est utilisé à un taux préférentiel compris entre 0,5 et 10 pce, plus préférentiellement compris entre 0,5 et 5,0 pce.

30 La gomme de remplissage peut comporter également, outre ledit système de réticulation, tout ou partie des additifs habituellement utilisés dans les matrices de caoutchouc destinées à la fabrication de pneumatiques, tels que par exemple des charges renforçantes comme le noir de carbone ou des charges inorganiques comme la silice, des agents de couplage, des agents  
35 anti-vieillessement, des antioxydants, des agents plastifiants ou des huiles d'extension, que ces derniers soient de nature aromatique ou non-aromatique, notamment des huiles très faiblement ou non aromatiques, par exemple du type naphthéniques ou paraffiniques, à haute ou de préférence à basse viscosité, des huiles MES ou TDAE, des résines plastifiantes à haute Tg supérieure à 30°C, des agents facilitant la mise en œuvre (processabilité) des  
40 compositions à l'état cru, des résines tackifiantes, des agents antiréversion, des accepteurs et

donneurs de méthylène tels que par exemple HMT (hexaméthylènetétramine) ou H3M (hexaméthoxyméthylmélamine), des résines renforçantes (tels que résorcinol ou bismaléimide), des systèmes promoteurs d'adhésion connus du type sels métalliques par exemple, notamment sels de cobalt ou de nickel.

5

Le taux de charge renforçante, par exemple du noir de carbone ou une charge inorganique renforçante telle que silice, est de préférence supérieur à 50 pce, par exemple compris entre 50 et 120 pce. Comme noirs de carbone, par exemple, conviennent tous les noirs de carbone, notamment les noirs du type HAF, ISAF, SAF conventionnellement utilisés dans les pneumatiques (noirs dits de grade pneumatique). Parmi ces derniers, on citera plus particulièrement les noirs de carbone de grade (ASTM) 300, 600 ou 700 (par exemple N326, N330, N347, N375, N683, N772). Comme charges inorganiques renforçantes conviennent notamment des charges minérales du type silice (SiO<sub>2</sub>), notamment les silice précipitées ou pyrogénées présentant une surface BET inférieure à 450 m<sup>2</sup>/g, de préférence de 30 à 400 m<sup>2</sup>/g.

10

15

L'homme de l'art saura, à la lumière de la présente description, ajuster la formulation de la gomme de remplissage afin d'atteindre les niveaux de propriétés (notamment module d'élasticité) souhaités, et adapter la formulation à l'application spécifique envisagée.

20

Selon un premier mode de réalisation de l'invention, la formulation de la gomme de remplissage peut être choisie identique à la formulation de la matrice de caoutchouc que le câble de l'invention est destiné à renforcer ; ainsi, il n'y a aucun problème de compatibilité entre les matériaux respectifs de la gomme de remplissage et de ladite matrice de caoutchouc.

25

Selon un second mode de réalisation de l'invention, la formulation de la gomme de remplissage peut être choisie différente de la formulation de la matrice de caoutchouc que le câble de l'invention est destiné à renforcer. On pourra notamment ajuster la formulation de la gomme de remplissage en utilisant une quantité relativement élevée de promoteur d'adhésion, typiquement par exemple de 5 à 15 pce d'un sel métallique tel qu'un sel de cobalt ou de nickel, et en réduisant avantageusement la quantité dudit promoteur (voire en le supprimant totalement) dans la matrice de caoutchouc environnante. Bien entendu, on pourra également ajuster la formulation de la gomme de remplissage en vue d'optimiser sa viscosité et ainsi sa pénétration à l'intérieur du câble lors de la fabrication de ce dernier.

30

35

De préférence, la gomme de remplissage présente, à l'état réticulé, un module sécant en extension E10 (à 10% d'allongement) qui est compris entre 2 et 25 MPa, plus préférentiellement entre 3 et 20 MPa, en particulier compris dans un domaine de 3 à 15 MPa.

L'invention concerne bien entendu le câble précédemment décrit tant à l'état cru (sa gomme de remplissage étant alors non réticulée) qu'à l'état cuit (sa gomme de remplissage étant alors réticulée ou vulcanisée). On préfère toutefois utiliser le câble de l'invention avec une gomme de remplissage à l'état cru jusqu'à son incorporation ultérieure dans le produit semi-fini ou produit fini tel que pneumatique auquel il est destiné, de manière à favoriser la liaison au cours de la réticulation ou vulcanisation finale entre la gomme de remplissage et la matrice de caoutchouc environnante (par exemple la gomme de calandrage).

La figure 1 schématise, en coupe perpendiculaire à l'axe du câble (supposé rectiligne et au repos), un exemple d'un câble préférentiel 2+8+14 conforme à l'invention.

Ce câble (noté C-1) est du type à couches cylindriques, c'est-à-dire que ses première, deuxième et troisième couches (respectivement C1, C2 et C3) sont enroulées soit à des pas différents soit selon des sens de torsion différents. Ce type de construction a pour conséquence que les fils (respectivement 11, 12) de ses deuxième et troisième couches (C2, C3) forment autour des deux fils (10) de la première couche (C1) deux couches sensiblement cylindriques qui ont chacune un contour (E) (représenté en pointillés) qui est sensiblement cylindrique, et non polygonal (plus précisément hexagonal) comme dans le cas de câbles à couches dits compacts.

On voit sur cette figure 1 que la gomme de remplissage (13), tout en écartant les fils très légèrement, remplit au moins en partie chacun des capillaires ou interstices (14) (à titre d'exemple, certains d'entre eux étant ici symbolisés par un triangle) délimités d'une part par les 2 fils (10) de la première couche (C1) et les M fils (11) de la deuxième couche (C2), d'autre part par les M fils (11) de la deuxième couche (C2) et les N fils (12) de la troisième couche (C3), ces fils étant pris au moins par groupe de 3 fils adjacents (3, 4, 5 voire même 6 dans le cas présent, selon les exemples de capillaires ou interstices représentés à la figure 1).

Selon un mode de réalisation préférentiel, dans le câble conforme à l'invention, la gomme de remplissage s'étend d'une manière continue autour de la deuxième couche (C2) qu'elle recouvre.

Pour comparaison, la figure 2 rappelle la coupe d'un câble 2+8+14 (noté C-2) conventionnel (i.e., non gommé in situ) à trois couches (C1, C2 et C3), également du type à couches cylindriques (contour E cylindrique). La caractéristique de ce type de câble est que ses différents fils (10, 11, 12) forment de nombreux canaux ou capillaires (14) qui restent fermés et vides et donc propices, par effet "de mèche", à la propagation de milieux corrosifs tels que l'eau.

Le câble de l'invention pourrait être pourvu d'une frette externe, constituée par exemple d'un fil unique, métallique ou non, enroulé en hélice autour du câble selon un pas plus court que celui de la couche externe (C3), et un sens d'enroulement opposé ou identique à celui de cette couche externe. Cependant, grâce à sa structure spécifique, le câble de l'invention, déjà auto-fretté, ne nécessite généralement pas l'emploi d'un fil de frette externe, ce qui résout avantageusement les problèmes d'usure entre la frette et les fils de la couche la plus externe du câble.

Toutefois, si un fil de frette est utilisé, dans le cas général où les fils de la couche externe sont en acier au carbone, on pourra alors avantageusement choisir un fil de frette en acier inoxydable afin de réduire l'usure par fretting de ces fils en acier au carbone au contact de la frette en acier inoxydable, comme enseigné par exemple dans la demande WO-A-98/41682, le fil en acier inoxydable pouvant être éventuellement remplacé, de manière équivalente, par un fil composite dont seule la peau est en acier inoxydable et le cœur en acier au carbone, tel que décrit par exemple dans le document EP-A-976 541. On peut également utiliser une frette constituée d'un polyester ou d'un polyester-amide aromatique thermotrope, telle que décrite dans la demande WO-A-03/048447.

L'homme du métier comprendra que le câble de l'invention précédemment décrit pourrait être éventuellement gommé in situ avec une gomme de remplissage à base d'élastomères autres que diéniques, notamment d'élastomères thermoplastiques (TPE) tels que par exemple des élastomères polyuréthane (TPU) ne nécessitant pas de manière connue de réticulation ou vulcanisation mais qui présentent, à la température de service, des propriétés similaires à celles d'un élastomère diénique vulcanisé.

Toutefois, et de manière particulièrement préférentielle, la présente invention est mise en œuvre avec une gomme de remplissage à base d'élastomères diéniques tels que précédemment décrits, grâce notamment à un procédé de fabrication spécifique qui est particulièrement adapté à de tels élastomères ; ce procédé de fabrication est décrit en détail ci-après.

## II-2. Fabrication du câble de l'invention

Le câble de l'invention précédemment décrit, gommé préférentiellement in situ par un élastomère diénique, est susceptible d'être fabriqué selon un procédé comportant préférentiellement les étapes suivantes, opérées plus préférentiellement en ligne et en continu :

- une première étape d'assemblage par retordage des deux fils de la couche centrale pour formation en un premier point dit « premier point d'assemblage » de la première couche ou couche centrale (C1) ;
- 5 - une deuxième étape d'assemblage par retordage des M fils autour de la couche centrale (C1), pour formation en un deuxième point dit « deuxième point d'assemblage » d'un câble intermédiaire (C1+C2) dit « toron d'âme », de construction 2+M ;
- en aval du premier point d'assemblage, une étape de gainage de la couche centrale (C1) et/ou du toron d'âme (C1+C2) par de la gomme de remplissage à l'état non réticulé (cru), ce gainage étant conduit soit en amont, soit en aval, soit à la fois en 10 amont et en aval du deuxième point d'assemblage ;
- suivie d'une troisième étape d'assemblage par retordage ou câblage des N fils autour du toron d'âme ainsi gainé ;
- puis d'une étape finale d'équilibrage des torsions.

15

De préférence, l'étape de gainage par la gomme de remplissage est conduite sur la seule couche centrale (C1), en aval du premier point d'assemblage et en amont du deuxième point d'assemblage, la gomme de remplissage étant délivrée en une seule fois en quantité suffisante pour l'obtention du câble selon l'invention. Une variante de réalisation possible peut consister 20 à opérer, en aval du deuxième point d'assemblage, une étape supplémentaire de gainage du toron d'âme (C1+C2). On préfère toutefois n'utiliser qu'une seule étape de gainage.

On rappelle ici qu'il existe deux techniques possibles d'assemblage de fils métalliques :

25

- soit par câblage : dans un tel cas, les fils ne subissent pas de torsion autour de leur propre axe, en raison d'une rotation synchrone avant et après le point d'assemblage ;
- soit par retordage : dans un tel cas, les fils subissent à la fois une torsion collective et une torsion individuelle autour de leur propre axe, ce qui génère un couple de détorsion sur chacun des fils et sur le câble lui-même.

30

Une caractéristique essentielle du procédé ci-dessus est d'utiliser une étape de retordage tant pour l'assemblage des fils de la première couche (C1) que pour l'assemblage de la deuxième couche (C2) autour de la couche centrale (C1).

35

L'assemblage de la troisième couche (C3) autour de la deuxième couche (C2) peut être opéré par retordage ou par câblage. On préfère utiliser une opération de retordage comme pour les deux premières opérations d'assemblage (couches C1 et C2).

40

Si la troisième couche (C3) est assemblée par câblage, le câble est alors fabriqué préférentiellement en deux étapes discontinues (retordage des deux premières couches, puis

câblage ultérieur de la troisième couche) ; on préfère dans ce cas utiliser deux étapes de gainage, un premier gainage de la couche centrale (C1), un second gainage ultérieur sur le toron d'âme (C1+C2).

5 A titre d'exemple, on procède comme suit.

Au cours de la première étape, les 2 fils de la couche centrale sont retordus ensemble (direction S ou Z) pour formation de la première couche (C1), de manière connue en soi ; les fils sont délivrés par des moyens d'alimentation tels que des bobines, une grille de répartition,  
10 couplée ou non à un grain d'assemblage, destinés à faire converger les 2 fils en un point de torsion commun (ou premier point d'assemblage).

En sortie de l'étape qui précède, les M fils de la deuxième couche (C2) sont retordus ensemble (direction S ou Z) autour de la couche centrale (C1) pour formation du toron d'âme  
15 (C1+C2) ; comme précédemment pour les fils de la couche centrale, les fils de la deuxième couche sont délivrés par des moyens d'alimentation tels que des bobines, grille de répartition, destinés à faire converger autour de la couche centrale les M fils en un point de torsion commun (ou deuxième point d'assemblage).

20 L'âme (C1+C2) ainsi formée est ensuite gainée par de la gomme de remplissage à l'état cru, apportée par une vis d'extrusion à une température appropriée. La gomme de remplissage peut être ainsi délivrée en un point fixe, unique et de faible encombrement, au moyen d'une tête d'extrusion unique.

25 La tête d'extrusion peut comporter une ou plusieurs filières, par exemple une filière amont de guidage et une filière aval de calibrage. On peut ajouter des moyens de mesure et de contrôle en continu du diamètre du câble, reliés à l'extrudeuse. De préférence, la température d'extrusion de la gomme de remplissage est comprise entre 50°C et 120°C, plus préférentiellement comprise entre 50°C et 100°C.

30 La tête d'extrusion définit ainsi une zone de gainage ayant par exemple, dans le cas préférentiel d'une seule étape de gainage conduite sur la couche centrale (C1), la forme d'un cylindre de révolution dont le diamètre est compris de préférence entre 0,15 mm et 1,2 mm, plus préférentiellement entre 0,2 et 1,0 mm, et dont la longueur est de préférence comprise  
35 entre 4 et 10 mm.

La quantité de gomme de remplissage délivrée par la tête d'extrusion peut être ajustée aisément de telle manière que, dans le câble final, cette quantité soit comprise entre 10 et 50 mg par g de câble final c'est-à-dire terminé de fabrication, gommé in situ.

40

En dessous du minimum indiqué, il n'est pas possible de garantir que la gomme de remplissage soit bien présente dans chacun des capillaires ou interstices du câble, tandis qu'au-delà du maximum indiqué, on peut s'exposer aux différents problèmes précédemment décrits dus au débordement de la gomme de remplissage à la périphérie du câble, selon les conditions particulières de mise en œuvre de l'invention et la construction spécifique des câbles fabriqués. Pour toutes ces raisons, on préfère que la quantité de gomme de remplissage délivrée soit comprise entre 15 et 45 mg, plus préférentiellement encore entre 15 et 40 mg par g de câble.

10 En aval du deuxième point d'assemblage, la contrainte de tension exercée sur le toron d'âme est de préférence comprise entre 10 et 25% de sa force à la rupture.

Dans le cas préférentiel d'une seule étape de gainage conduite sur la couche centrale (C1), la couche centrale du câble en sortie de la tête d'extrusion est, en tout point de sa périphérie, préférentiellement recouverte d'une épaisseur minimale de gomme de remplissage qui est supérieure à 20  $\mu\text{m}$ , plus préférentiellement supérieure à 30  $\mu\text{m}$ , notamment comprise entre 30 et 80  $\mu\text{m}$ .

Au cours d'une troisième étape, on procède à l'assemblage final, toujours par retordage (direction S ou Z), des N fils de la troisième couche ou couche externe (C3) autour du toron d'âme (C1+C2) ainsi gainé.

A ce stade du procédé, le câble de l'invention n'est pas encore terminé : les capillaires ou canaux délimités par les M fils de la deuxième couche (C2) et les N fils de la troisième couche (C3), ne sont pas encore remplis de gomme de remplissage, en tout cas de manière insuffisante pour l'obtention d'un câble ayant une imperméabilité à l'air qui soit optimale.

L'étape importante qui suit consiste à faire passer le câble, ainsi pourvu de sa gomme de remplissage à l'état cru, à travers des moyens d'équilibrage de torsion pour obtention d'un câble dit équilibré en torsion (c'est-à-dire pratiquement sans torsion résiduelle) ; par "équilibrage de torsion", on entend ici de manière connue l'annulation des couples de torsion résiduels (ou du retour élastique de détorsion) s'exerçant sur chaque fil du câble à l'état retordu, dans sa couche respective. Les outils d'équilibrage de la torsion sont connus de l'homme du métier du retordage ; ils peuvent consister par exemple en des "dresseurs" et/ou des "retordeurs" et/ou des "retordeurs-dresseurs" constitués soit de poulies pour les retordeurs, soit de galets de petit diamètre pour les dresseurs, poulies ou galets à travers lesquels circule le câble, dans un seul plan ou de préférence dans au moins deux plans différents.

On suppose a posteriori que, lors du passage à travers les différents moyens d'équilibrage ci-dessus, ces derniers génèrent, sur les M et N fils des deuxième et troisième couches (C2 et C3), une torsion et pression radiale qui sont suffisantes pour redistribuer la gomme de remplissage à l'état cru (i.e., non réticulée, non cuite), encore chaude et relativement fluide, en la transférant en partie, des capillaires formés par la couche centrale (C1) et les M fils de la deuxième couche (C2), vers l'intérieur des capillaires formés par les M fils de la deuxième couche (C2) et les N fils de la troisième couche (C3), offrant finalement au câble de l'invention l'excellente propriété d'imperméabilité à l'air qui le caractérise. La fonction de dressage, apportée par l'utilisation d'un outil dresseur, aurait en outre pour avantage que le contact des galets du dresseur avec les fils de la couche externe (C3) va exercer une pression radiale supplémentaire sur la gomme de remplissage favorisant encore sa répartition optimale dans les capillaires présents entre les deuxième couche (C2) et la troisième couche (C3) du câble.

En d'autres termes, le procédé décrit ci-dessus exploite la torsion des fils et la pression radiale s'exerçant sur ces derniers au stade final de fabrication du câble, pour répartir radialement la gomme de remplissage à l'intérieur du câble, tout en contrôlant parfaitement la quantité de gomme de remplissage fournie. L'homme du métier saura notamment ajuster l'agencement, le diamètre des poulies et/ou des galets des moyens d'équilibrage de torsion, pour jouer sur l'intensité de la pression radiale s'exerçant sur les différents fils.

Ainsi, de manière inattendue, il s'est avéré possible de faire pénétrer la gomme de remplissage au cœur même du câble de l'invention et dans l'ensemble de ses capillaires, en déposant la gomme en aval du premier point d'assemblage des 2 fils pour formation de la première couche ou couche centrale (C1), tout en contrôlant et en optimisant la quantité de gomme de remplissage délivrée grâce à l'emploi d'une tête d'extrusion unique.

Après cette étape ultime d'équilibrage de la torsion, la fabrication du câble de l'invention, gommé in situ par sa gomme de remplissage à l'état cru, est terminée.

Préférentiellement, dans ce câble terminé, l'épaisseur de gomme de remplissage entre deux fils adjacents du câble, quels qu'ils soient (notamment entre les 2 fils de la couche centrale C1), est supérieure à 1  $\mu\text{m}$ , de préférence comprise entre 1 et 10  $\mu\text{m}$ . Ce câble peut être enroulé sur une bobine de réception, pour stockage, avant d'être traité par exemple à travers une installation de calandrage, pour préparation d'un tissu composite métal-caoutchouc utilisable comme armature de carcasse de pneumatique, ou encore pour être assemblé sous forme d'un câble multitorons.

Une autre variante de réalisation du procédé de fabrication qui vient d'être décrit peut consister à opérer l'étape de gainage sur la couche centrale (C1) elle-même, c'est-à-dire en

amont et non plus en aval du deuxième point d'assemblage. La gomme de remplissage à l'état cru est alors délivrée en une seule fois, en une quantité suffisante pour permettre l'obtention d'un câble conforme à l'invention.

- 5 Une autre variante de réalisation peut également consister à opérer deux étapes de gainage successives, la première sur le couche centrale (C1), la seconde sur le toron d'âme (C1+C2), la gomme de remplissage à l'état cru étant alors délivrée en deux étapes distinctes, en quantités respectives appropriées. On préfère toutefois n'utiliser qu'une seule étape de gainage, de préférence celle du toron d'âme (C1+C2).

10

Le procédé précédemment décrit a l'avantage de rendre possible l'opération complète de retordage et gommage en ligne et en continu, quel que soit le type de câble fabriqué (câble à couches cylindriques comme câble compact), tout ceci à haute vitesse. Le procédé ci-dessus peut être mis en œuvre à une vitesse (vitesse de défilement du câble sur la ligne de retordage-  
15 gommage) supérieure à 50 m/min, préférentiellement supérieure à 70 m/min, notamment supérieure à 100 m/min.

20

Ce procédé s'applique bien entendu à la fabrication de câbles du type compacts (pour rappel et par définition, ceux dont les couches C1, C2 et C3 sont enroulées au même pas et dans le même sens) comme à la fabrication de câbles du type à couches cylindriques (pour rappel et par définition, ceux dont les couches C1, C2 et C3 sont enroulées soit à des pas différents (quels que soient leurs sens de torsion, identiques ou pas), soit dans des sens opposés (quels que soient leurs pas, identiques ou différents)).

25

Le procédé précédemment décrit rend possible, selon un mode de réalisation particulièrement préférentiel, la fabrication de câbles qui peuvent être dépourvus (ou quasiment dépourvus) de gomme de remplissage à leur périphérie ; par une telle expression, on entend qu'aucune particule de gomme de remplissage n'est visible, à l'œil nu, à la périphérie du câble, c'est-à-dire que l'homme du métier ne fait pas de différence en sortie de fabrication, à l'œil nu et à  
30 une distance de trois mètres ou plus, entre une bobine de câble conforme à l'invention et une bobine de câble conventionnel non gommé in situ.

35

Un dispositif d'assemblage et gommage utilisable préférentiellement pour la mise en œuvre de ce procédé, est un dispositif comportant d'amont en aval, selon la direction d'avancement d'un câble en cours de formation :

- des moyens d'alimentation et des premiers moyens d'assemblage par retordage des deux fils centraux pour formation de la première couche (C1) en un point dit premier point d'assemblage, ;

- des moyens d'alimentation et des deuxièmes moyens d'assemblage par retordage des M fils de la deuxième couche (C2) autour de la couche centrale (C1), en un point dit deuxième point d'assemblage, pour formation d'un câble intermédiaire dit « toron d'âme » de construction C1+C2 ;
- 5 - des moyens de gainage de la couche centrale (C1) et/ou du toron d'âme (C1+C2), disposés soit en amont, soit en aval, soit à la fois en amont et en aval du deuxième point d'assemblage ;
- des moyens d'alimentation et des troisièmes moyens d'assemblage par retordage des N fils autour du toron d'âme, pour mise en place de la troisième couche (C3) ;
- 10 - en sortie des troisièmes moyens d'assemblage, des moyens d'équilibrage de torsion.

On voit sur la figure 3 annexée un exemple de dispositif (30) d'assemblage par retordage utilisable pour la fabrication d'un câble à trois couches, de construction 2+M+N, du type à couches cylindriques tel qu'illustré par exemple à la figure 1 commentée précédemment.

15

Dans ce dispositif (30), des moyens d'alimentation (110) délivrent tout d'abord deux fils (10) à travers une grille (111) de répartition (répartiteur axisymétrique), couplée ou non à un grain d'assemblage (112), au-delà de laquelle convergent les deux fils (10) en un premier point d'assemblage (113), pour formation de la première couche ou couche centrale (C1).

20

Des moyens d'alimentation (114) délivrent ensuite, autour de la couche centrale (C1), M fils (11), par exemple à travers une grille de répartition couplée à un grain d'assemblage, au-delà de laquelle convergent les M (par exemple 8) fils de la deuxième couche en un deuxième point d'assemblage (115), pour formation du toron d'âme (C1+C2) de construction 2+M (par exemple 2+8).

25

Le toron d'âme (C1+C2) ainsi formé traverse ensuite une zone de gainage (116) consistant par exemple en une tête d'extrusion. La distance entre le point de gainage (116) et le deuxième point de convergence (115) est par exemple comprise entre 1 et 5 mètres.

30

Autour du toron d'âme (C1+C2) ainsi gainé et progressant dans le sens de la flèche F, sont ensuite assemblés par retordage les N fils (12) de la couche externe (C3), par exemple au nombre de 14, délivrés par des moyens d'alimentation (117). Le câble final (C1+C2+C3) est finalement collecté sur la réception tournante (119), après traversée des moyens d'équilibrage de torsion (118) consistant par exemple en un dresseur ou un retordeur-dresseur.

35

On rappelle ici que, de manière bien connue de l'homme du métier, pour la fabrication d'un câble du type à couches cylindriques tel qu'illustré par exemple à la figure 1, le dispositif utilisé doit comporter au moins deux organes (alimentation ou réception) tournants couplés, et non un seul comme dans le cas d'un câble à couches du type compact.

40

### II-3. Utilisation du câble en armature carcasse de pneumatique

5 Comme expliqué en introduction du présent mémoire, le câble de l'invention est particulièrement destiné à une armature de carcasse de pneumatique pour véhicule industriel.

A titre d'exemple, la figure 4 représente de manière très schématique une coupe radiale d'un pneumatique à armature de carcasse métallique pouvant être conforme ou non à l'invention, dans cette représentation générale.

10

Ce pneumatique 1 comporte un sommet 2 renforcé par une armature de sommet ou ceinture 6, deux flancs 3 et deux bourrelets 4, chacun de ces bourrelets 4 étant renforcé avec une tringle 5. Le sommet 2 est surmonté d'une bande de roulement non représentée sur cette figure schématique. Une armature de carcasse 7 est enroulée autour des deux tringles 5 dans chaque bourrelet 4, le retournement 8 de cette armature 7 étant par exemple disposé vers l'extérieur du pneumatique 1 qui est ici représenté monté sur sa jante 9. L'armature de carcasse 7 est de manière connue en soi constituée d'au moins une nappe renforcée par des câbles métalliques dits "radiaux", c'est-à-dire que ces câbles sont disposés pratiquement parallèles les uns aux autres et s'étendent d'un bourrelet à l'autre de manière à former un angle compris entre 80° et 90° avec le plan circonférentiel médian (plan perpendiculaire à l'axe de rotation du pneumatique qui est situé à mi-distance des deux bourrelets 4 et passe par le milieu de l'armature de sommet 6).

15

Le pneumatique conforme à l'invention est caractérisé en ce que son armature de carcasse 7 comporte au moins, à titre d'élément de renforcement d'au moins une nappe de carcasse, un câble métallique conforme à l'invention. Bien entendu, ce pneumatique 1 comporte en outre de manière connue une couche de gomme ou élastomère intérieure (communément appelée "gomme intérieure") qui définit la face radialement interne du pneumatique et qui est destinée à protéger la nappe de carcasse de la diffusion d'air provenant de l'espace intérieur au pneumatique.

25

De préférence, la composition de caoutchouc utilisée pour le tissu de la nappe d'armature de carcasse présente, à l'état vulcanisé (i.e., après cuisson), un module sécant en extension E10 qui est compris entre 2 et 25 MPa, plus préférentiellement entre 3 et 20 MPa, notamment dans un domaine de 3 à 15 MPa.

30

### III. EXEMPLES DE REALISATION DE L'INVENTION

Les essais qui suivent démontrent que les câbles à trois couches conformes à l'invention, comparés aux câbles à trois couches gommés in situ de l'art antérieur, ont l'avantage notable de comporter une quantité réduite de gomme de remplissage, ce qui leur garantit une meilleure compacité, cette gomme étant en outre répartie uniformément à l'intérieur du câble, à l'intérieur de chacun de ses capillaires, leur conférant ainsi une imperméabilité longitudinale optimale.

On utilise dans les essais qui suivent des câbles à couches de constructions 2+8+14 constitués de fils fins en acier au carbone revêtus de laiton.

Les fils en acier au carbone sont préparés de manière connue, en partant par exemple de fils machine (diamètre 5 à 6 mm) que l'on écrouit tout d'abord, par laminage et/ou tréfilage, jusqu'à un diamètre intermédiaire voisin de 1 mm. L'acier utilisé est un acier au carbone connu (norme USA AISI 1069) dont la teneur en carbone est de 0,70%. Les fils de diamètre intermédiaire subissent un traitement de dégraissage et/ou décapage, avant leur transformation ultérieure. Après dépôt d'un revêtement de laiton sur ces fils intermédiaires, on effectue sur chaque fil un écrouissage dit "final" (i.e., après le dernier traitement thermique de patentage), par tréfilage à froid en milieu humide avec un lubrifiant de tréfilage qui se présente par exemple sous forme d'une émulsion ou d'une dispersion aqueuse. Le revêtement de laiton qui entoure les fils a une épaisseur très faible, nettement inférieure au micromètre, par exemple de l'ordre de 0,15 à 0,30  $\mu\text{m}$ , ce qui est négligeable par rapport au diamètre des fils en acier. Les fils en acier ainsi tréfilés ont le diamètre et les propriétés mécaniques indiquées dans le tableau 1 ci-dessous.

**Tableau 1**

Acier	$\phi$ (mm)	Fm (N)	Rm (MPa)
NT	0,18	68	2820

Ces fils sont ensuite assemblés sous forme de câbles à couches 2+8+14 dont la construction est conforme à la représentation de la figure 1 et dont les propriétés mécaniques sont données dans le tableau 2.

**Tableau 2**

Câble	p <sub>1</sub> (mm)	p <sub>2</sub> (mm)	p <sub>3</sub> (mm)	Fm (daN)	Rm (MPa)	At (%)
C-1	6	12	18	155	2680	2.4

L'exemple (C-1) de ce câble 2+8+14 préparé selon le procédé précédemment décrit, tel que schématisé à la figure 1, est donc formé de 24 fils au total, deux fils formant la couche centrale (C1) et 22 fils autour, tous de diamètre 0,18 mm, qui ont été enroulés en trois couches concentriques à des pas différents (même direction de torsion S) pour l'obtention d'un câble à couches cylindriques. Le taux de gomme de remplissage, mesuré selon la méthode indiquée précédemment au paragraphe II-1-C, est égal à environ 32 mg par g de câble. Cette gomme de remplissage est présente dans chacun des capillaires du câble, c'est-à-dire qu'elle remplit en totalité ou au moins en partie chacun de ces capillaires de telle manière qu'il existe au moins, sur toute portion de câble de longueur égale à 3 cm (préférentiellement même réduite à 2 cm), un bouchon de gomme dans chaque capillaire.

Pour la fabrication de ce câble, on a utilisé un dispositif tel que décrit précédemment et schématisé à la Fig. 3. La gomme de remplissage est une composition de caoutchouc conventionnelle pour armature carcasse de pneumatique pour véhicules industriels, ayant la même formulation que celle de la nappe de caoutchouc de carcasse que le câble C-1 est destiné à renforcer ; cette composition est à base de caoutchouc naturel (peptisé) et de noir de carbone N330 (55 pce) ; elle comporte en outre les additifs usuels suivants: soufre (6 pce), accélérateur sulfénamide (1 pce), ZnO (9 pce), acide stéarique (0,7 pce), antioxydant (1,5 pce), naphthénate de cobalt (1 pce) ; le module E10 de la composition est de 6 MPa environ. Cette composition a été extrudée à une température de 85°C environ à travers une filière de calibrage unique de diamètre égal à environ 0,420 mm.

Les câbles C-1 ainsi préparés ont été soumis au test de perméabilité à l'air décrit au paragraphe II-1-B, en mesurant le volume d'air (en cm<sup>3</sup>) traversant les câbles en 1 minute (moyenne de 10 mesures pour chaque câble testé). Pour chaque câble C-1 testé et pour 100% des mesures (soit dix éprouvettes sur dix), on a mesuré un débit nul ou inférieur à 0,2 cm<sup>3</sup>/min ; en d'autres termes, ces exemples de câbles préparés selon le procédé de l'invention peuvent être qualifiés d'étanches à l'air selon leur axe longitudinal ; ils présentent donc un taux de pénétration optimal par le caoutchouc.

D'autre part, des câbles gommés in situ témoins, de même construction que les câbles compacts C-1 ci-dessus, ont été préparés conformément au procédé décrit dans la demande WO 2005/071157 précitée, en plusieurs étapes discontinues, par gainage via une tête d'extrusion du toron d'âme intermédiaire 2+8, puis dans un deuxième temps par câblage des 15 fils restants autour de l'âme ainsi gainée, pour formation de la couche externe. Ces câbles témoins ont été ensuite soumis au test de perméabilité à l'air du paragraphe I-2.

On a constaté tout d'abord qu'aucun de ces câbles témoins ne présentait 100% des mesures (soit dix éprouvettes sur dix) avec un débit nul ou inférieur à 0,2 cm<sup>3</sup>/min, en d'autres termes

qu'aucun de ces câbles témoins ne pouvait être qualifié d'étanche (totalement étanche) à l'air selon son axe.

5 On a observé d'autre part que, parmi ces câbles témoins, ceux présentant les meilleurs résultats d'imperméabilité (soit un débit moyen d'environ  $2 \text{ cm}^3/\text{min}$ ), présentaient tous une quantité relativement importante de gomme de remplissage parasite débordant à leur périphérie, les rendant inaptes à une opération de calandrage satisfaisante en conditions industrielles.

10 En résumé, le procédé de l'invention permet la fabrication de câbles de construction 2+M+N gommés in situ qui, grâce à un taux de pénétration optimal par du caoutchouc, d'une part présentent une haute endurance en armature de carcasse des pneumatiques, d'autre part peuvent être mis en œuvre de manière efficace sous des conditions industrielles, notamment sans les difficultés liées à un débordement excessif de caoutchouc lors de leur fabrication.

15

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux exemples de réalisation précédemment décrits.

20 C'est ainsi par exemple qu'au moins un (c'est-à-dire un ou plusieurs) fil du câble de l'invention, quelle que soit la couche considérée (C1, C2 ou C3), pourrait être remplacé par un fil préformé ou déformé, ou plus généralement par un fil de section différente de celle des autres fils de diamètre  $d_1$  et/ou  $d_2$  et/ou  $d_3$ , de manière par exemple à améliorer encore la pénétrabilité du câble par le caoutchouc ou toute autre matière, le diamètre d'encombrement de ce fil de remplacement pouvant être inférieur, égal ou supérieur au diamètre ( $d_1$  et/ou  $d_2$  et/ou  $d_3$ ) des autres fils constitutifs de la couche (C1 et/ou C2 et/ou C3) concernée.

25

Sans que l'esprit de l'invention soit modifié, une partie des fils constituant le câble conforme à l'invention pourrait être remplacé par des fils autres que des fils en acier, métalliques ou non, notamment des fils en matière minérale ou organique à haute résistance mécanique, par exemple des monofilaments en polymères organiques cristaux liquides.

30

L'invention concerne également tout câble d'acier multi-torons ("*multistrand rope*") dont la structure incorpore au moins, en tant que toron élémentaire, un câble à couches conforme à l'invention.

35

A titre d'exemples de câbles multi-torons conformes à l'invention, utilisables par exemple dans des pneumatiques pour véhicules industriels du type génie civil, notamment dans leur armature carcasse ou sommet, on peut citer des câbles multitorons à deux couches (J+K) de torons de construction générale connue en soi, par exemple :

- (1+5) x (2+M+N) formé au total de six torons élémentaires, un au centre et les cinq autres câblés autour du centre ;
- (1+6) x (2+M+N) formé au total de sept torons élémentaires, un au centre et les six autres câblés autour du centre ;
- 5 - (2+7) x (2+M+N) formé au total de neuf torons élémentaires, deux au centre et les sept autres câblés autour du centre ;
- (2+8) x (2+M+N) formé au total de dix torons élémentaires, deux au centre et les huit autres câblés autour du centre ;
- 10 - (3+8) x (2+M+N) formé au total de onze torons élémentaires, trois au centre et les huit autres câblés autour du centre ;
- (3+9) x (2+M+N) formé au total de douze torons élémentaires, trois au centre et les neuf autres câblés autour du centre ;
- (4+9) x (2+M+N) formé au total de treize torons élémentaires, trois au centre et les neuf autres câblés autour du centre ;
- 15 - (4+10) x (2+M+N) formé au total de quatorze torons élémentaires, quatre au centre et les dix autres câblés autour du centre,

mais dans lesquels chaque toron élémentaire (ou tout au moins, au moins une partie d'entre eux) est constitué par un câble à trois couches 2+M+N, notamment 2+7+13 ou 2+8+14, qui est conforme à l'invention.

De tels câbles d'acier multi-torons, notamment du type (1+5)(2+7+13), (1+6)(2+7+13), (2+7)(2+7+13), (2+8)(2+7+13), (3+8)(2+7+13), (3+9)(2+7+13), (4+9)(2+7+13), (4+10)(2+7+13), (1+5)(2+8+14), (1+6)(2+8+14), (2+7)(2+8+14), (2+8)(2+8+14), (3+8)(2+8+14), (3+9)(2+8+14), (4+9)(2+8+14) ou (4+10)(2+8+14), pourraient être eux-mêmes gommés in situ lors de leur fabrication, c'est-à-dire que dans ce cas le toron central est lui-même, ou les torons du centre s'ils sont plusieurs sont eux-mêmes, gainé(s) par de la gomme de remplissage non vulcanisée (cette gomme de remplissage étant de formulation identique ou différente de celle utilisée pour le gommage in situ des torons élémentaires), avant la mise en place par câblage des torons périphériques formant la couche externe.

**REVENDICATIONS**

- 5    **1.** Câble métallique à trois couches (C1, C2, C3) de construction 2+M+N, gommé in situ, comportant une première couche ou couche centrale (C1) constituée de deux fils de diamètre  $d_1$  assemblés en hélice selon un pas  $p_1$ , couche centrale (C1) autour de laquelle sont enroulés en hélice selon un pas  $p_2$ , en une deuxième couche (C2), M fils de diamètre  $d_2$ , deuxième couche autour de laquelle sont enroulés en hélice selon un pas  $p_3$ , en une troisième couche
- 10 (C3), N fils de diamètre  $d_3$ , ledit câble étant caractérisé en ce qu'il présente les caractéristiques suivantes ( $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ ,  $p_1$ ,  $p_2$  et  $p_3$  étant exprimés en mm) :
- $0,08 \leq d_1 \leq 0,50$  ;
  - $0,08 \leq d_2 \leq 0,50$  ;
  - 15 -  $0,08 \leq d_3 \leq 0,50$  ;
  - $3 < p_1 < 50$  ;
  - $6 < p_2 < 50$  ;
  - $9 < p_3 < 50$  ;
  - sur toute longueur de câble égale à 3 cm, une composition de caoutchouc dite "gomme de remplissage" est présente dans chacun des capillaires délimités d'une
  - 20 "gomme de remplissage" est présente dans chacun des capillaires délimités d'une part par les 2 fils de la première couche (C1) et les M fils de la deuxième couche (C2), d'autre part par les M fils de la deuxième couche (C2) et les N fils de la troisième couche (C3) ;
  - le taux de gomme de remplissage dans le câble est compris entre 10 et 50 mg par
  - 25 gramme de câble.
- 2.** Câble selon la revendication 1, dans lequel le caoutchouc de la gomme de remplissage est un élastomère diénique.
- 30 **3.** Câble selon la revendication 2, dans lequel l'élastomère diénique est choisi dans le groupe constitué par les polybutadiènes, le caoutchouc naturel, les polyisoprènes de synthèse, les copolymères de butadiène, les copolymères d'isoprène, et les mélanges de ces élastomères.
- 35 **4.** Câble selon la revendication 3, dans lequel l'élastomère diénique est un élastomère isoprénique, de préférence du caoutchouc naturel.
- 5.** Câble selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel les caractéristiques suivantes sont vérifiées :

- $3 < p_1 < 30$  ;
- $6 < p_2 < 30$  ;
- $9 < p_3 < 30$  .

5

**6.** Câble selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel :

$$p_1 \leq p_2 \leq p_3 .$$

10

**7.** Câble selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel les caractéristiques suivantes sont vérifiées :

- $0,10 \leq d_1 \leq 0,40$  ;
- $0,10 \leq d_2 \leq 0,40$  ;
- $0,10 \leq d_3 \leq 0,40$  .

15

**8.** Câble selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel les 2, M et N fils des première (C1), deuxième (C2) et troisième (C3) couches sont enroulés dans le même sens de torsion.

20

**9.** Câble selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel  $d_1 = d_2 = d_3$ .

**10.** Câble selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel  $p_2 = p_3$ .

25

**11.** Câble selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans lequel la deuxième couche (C2) comporte 6 à 10 fils et la troisième couche (C3) comporte 12 à 16 fils.

**12.** Câble selon la revendication 11, dans lequel la deuxième couche (C2) comporte 7 ou 8 fils et la troisième couche (C3) comporte 13 ou 14 fils.

30

**13.** Câble selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, dans lequel la troisième couche (C3) est une couche saturée.

35

**14.** Câble selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, dans lequel le taux de gomme de remplissage est compris entre 15 et 45 mg, de préférence entre 15 et 40 mg par g de câble.

**15.** Câble selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que, au test de perméabilité à l'air (selon paragraphe I-2), il présente un débit d'air moyen inférieur à  $2 \text{ cm}^3/\text{min}$ .

40

16. Câble selon la revendication 15, caractérisé en ce que, au test de perméabilité à l'air (selon paragraphe I-2), il présente un débit d'air inférieur ou au plus égal à  $0,2 \text{ cm}^3/\text{min}$ .

17. Procédé de fabrication d'un câble selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, comportant au moins les étapes suivantes :

- une première étape d'assemblage par retordage des deux fils de la couche centrale pour formation en un premier point dit « premier point d'assemblage » de la première couche ou couche centrale (C1) ;
- une deuxième étape d'assemblage par retordage des M fils autour de la couche centrale (C1), pour formation en un deuxième point dit « deuxième point d'assemblage » d'un câble intermédiaire (C1+C2) dit « toron d'âme », de construction 2+M ;
- en aval du premier point d'assemblage, une étape de gainage de la couche centrale (C1) et/ou du toron d'âme (C1+C2) par de la gomme de remplissage à l'état cru, ce gainage étant conduit soit en amont, soit en aval, soit à la fois en amont et en aval du deuxième point d'assemblage ;
- suivie d'une troisième étape d'assemblage par retordage ou câblage des N fils autour du toron d'âme ainsi gainé ;
- puis d'une étape d'équilibrage final des torsions.

18. Câble multitorons dont au moins un des torons est un câble selon l'une quelconque des revendications 1 à 16.

19. Utilisation d'un câble selon l'une quelconque des revendications 1 à 16 et 18, pour le renforcement d'un article ou produit semi-fini en caoutchouc.

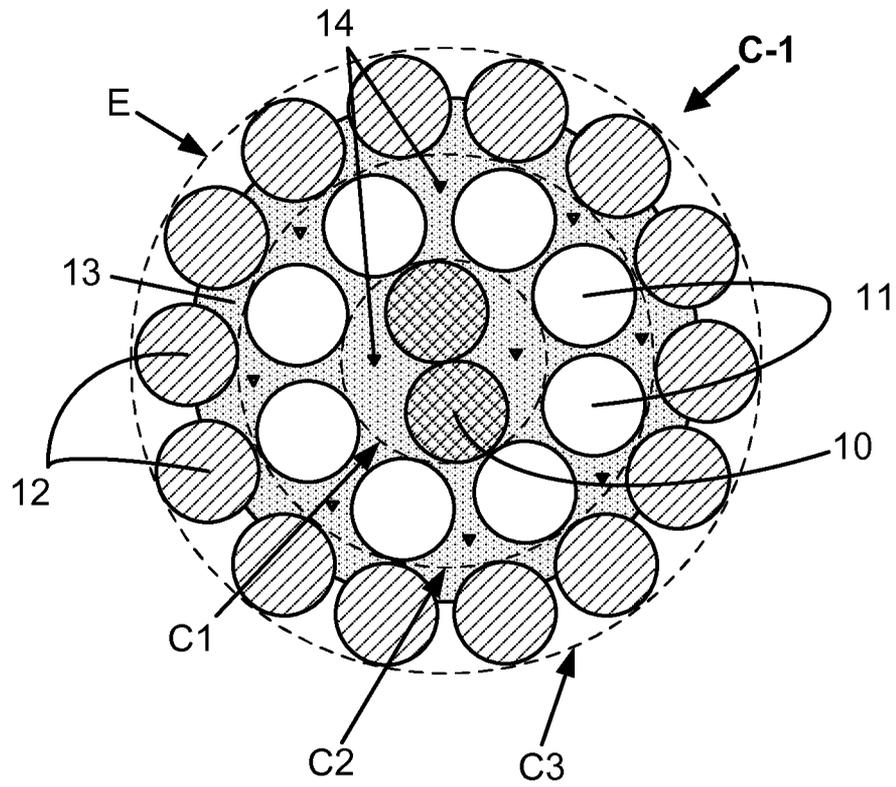
20. Utilisation selon la revendication 19, dans laquelle l'article en caoutchouc est un pneumatique.

21. Pneumatique comportant un câble selon l'une quelconque des revendications 1 à 16 et 18.

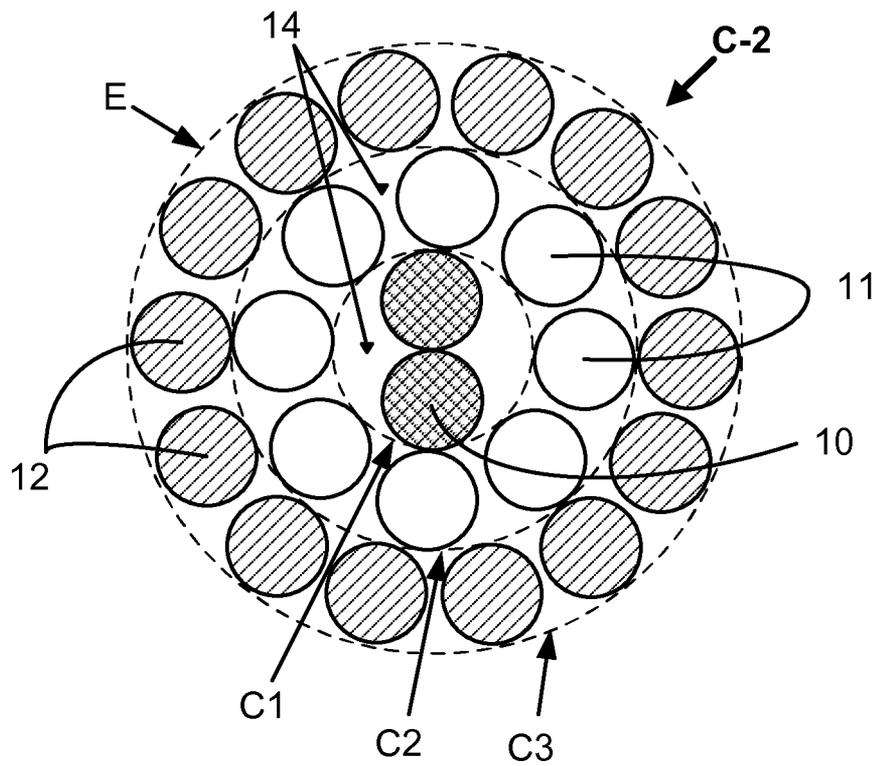
22. Pneumatique selon la revendication 21, ledit pneumatique étant un pneumatique de véhicule industriel.

23. Pneumatique selon la revendication 21 ou 22, le câble étant présent dans l'armature de carcasse ou l'armature de sommet du pneumatique.

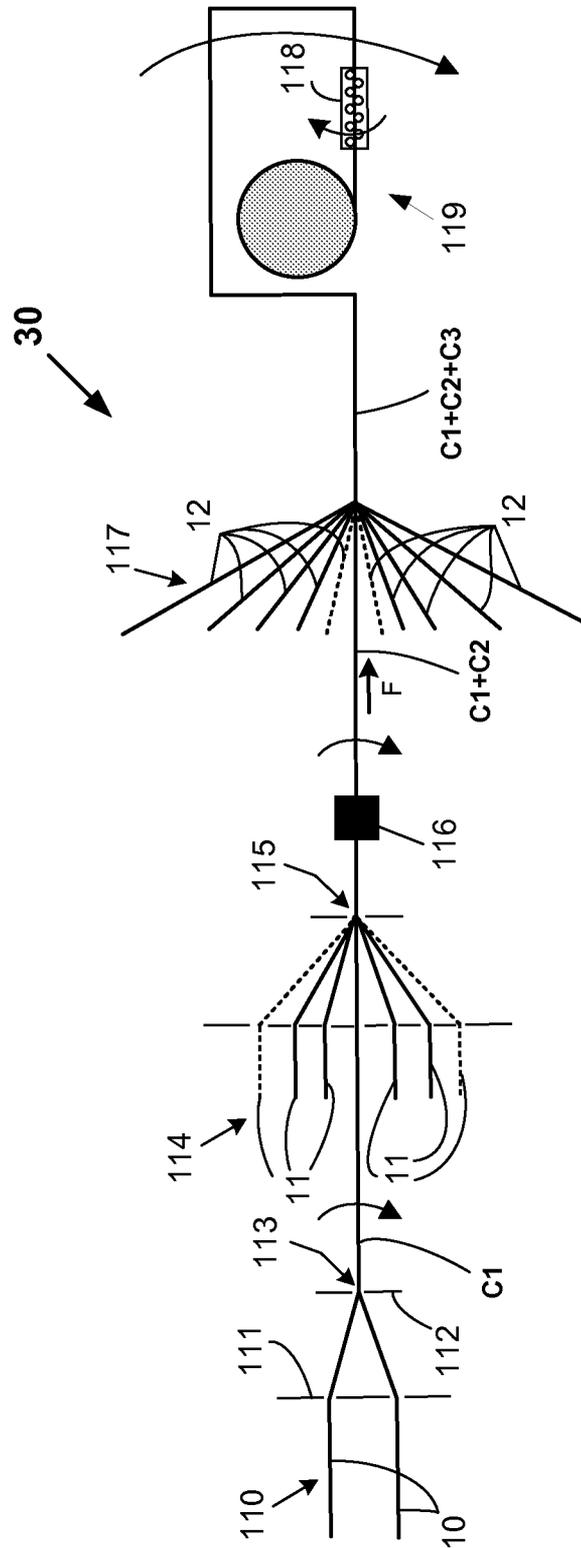
**Fig. 1**



**Fig. 2**



**Fig. 3**



**Fig. 4**

