



(11) **EP 3 503 125 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
**26.06.2019 Bulletin 2019/26**

(51) Int Cl.:  
**H01B 9/02 (2006.01)** **H01B 7/18 (2006.01)**  
**H01B 7/04 (2006.01)**

(21) Numéro de dépôt: **18212776.1**

(22) Date de dépôt: **14.12.2018**

(84) Etats contractants désignés:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Etats d'extension désignés:  
**BA ME**  
Etats de validation désignés:  
**KH MA MD TN**

(72) Inventeurs:  
• **LARCHE, Jean-François**  
**69250 FLEURIEU-SUR-SAONE (FR)**  
• **COMBESSIS, Anthony**  
**13006 MARSEILLE (FR)**  
• **SUMERA, Rodrigue**  
**62860 EPINOY (FR)**  
• **MASQUELIER, Nicolas**  
**59133 PHALEMPIN (FR)**

(30) Priorité: **19.12.2017 FR 1762527**

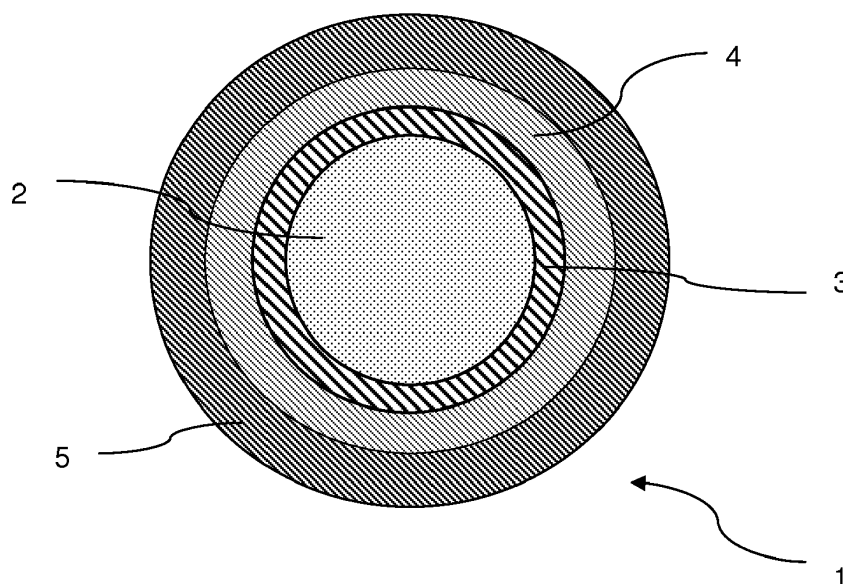
(74) Mandataire: **Peguet, Wilfried et al**  
**Ipsilon**  
**Le Centralis**  
**63, avenue du Général Leclerc**  
**92340 Bourg-la-Reine (FR)**

(71) Demandeur: **Nexans**  
**92400 Courbevoie (FR)**

(54) **CÂBLE COMPRENANT AU MOINS UNE COUCHE MÉTALLISÉE D'UN MATÉRIAU CARBONÉ**

(57) La présente invention concerne un câble électrique (1) comprenant au moins un élément électriquement conducteur allongé (2) entouré par au moins une couche polymérique (3), caractérisé en ce que ladite cou-

che polymérique (3) est entourée par au moins une couche métallisée d'un matériau carboné (4), ledit matériau carboné comprenant plus de 50 % en poids d'atomes de carbone par rapport au poids total du matériau carboné.



**FIG. 1**

**EP 3 503 125 A1**

## Description

**[0001]** L'invention se rapporte à un câble électrique comprenant au moins un élément électriquement conducteur allongé entouré par une ou plusieurs couche(s) métallisée(s) d'un matériau carboné.

**[0002]** Les câbles électriques sont largement utilisés pour le transport d'énergie électrique ainsi que pour la transmission de données. Les câbles électriques doivent posséder différentes propriétés selon leur utilisation et notamment, une bonne conductivité électrique, une bonne résistance mécanique, tout en étant le plus léger possible.

**[0003]** Certains câbles électriques comprennent une ou plusieurs couches métalliques, notamment du type armure métallique, qui permettent de préserver l'intégrité mécanique du câble en résistant aux charges en traction et en compression.

**[0004]** Toutefois, l'utilisation de telles armures augmente le poids du câble et peut entraîner une perte de souplesse de celui-ci le rendant ainsi plus rigide. De plus, ces armures peuvent entraîner des pertes induites par effet joule, obligeant parfois à surdimensionner la taille des conducteurs.

**[0005]** Du document US 9 466 405 est connu un câble électrique à haute tension comprenant au moins deux conducteurs électriques isolés, entourés par une couche formant une armure, constituée de fils d'acier, ces fils d'acier pouvant être combinés à des fibres de carbone ou d'aramide.

**[0006]** Toutefois, il a été constaté que ce type de câble ne présente pas des propriétés électriques optimales.

**[0007]** Le but de la présente invention est de pallier les inconvénients de l'art antérieur en proposant un câble électrique léger et présentant des propriétés électriques améliorées, notamment pour optimiser la répartition du champ électrique à l'intérieur du câble et/ou faire barrière aux champs électrostatiques extérieurs au câble.

**[0008]** La présente invention a ainsi pour objet un câble électrique comprenant au moins un élément électriquement conducteur allongé entouré par au moins une couche polymérique, de préférence une couche polymérique électriquement isolante, caractérisé en ce que ladite couche polymérique est entourée par au moins une couche métallisée d'un matériau carboné, ledit matériau carboné comprenant plus de 50% en poids d'atomes de carbone par rapport au poids total du matériau carboné.

**[0009]** Grâce à l'invention, le câble électrique présente un poids limité de façon significative, tout en présentant une très bonne flexibilité.

**[0010]** La présente invention garantit également de bonnes propriétés électriques, telles qu'une conductivité spécifique améliorée de façon significative, grâce notamment à la couche métallisée d'un matériau carboné.

**[0011]** En outre, la couche métallisée d'un matériau carboné peut jouer avantageusement le rôle d'un écran de protection électrique ou blindage, permettant de protéger électriquement le câble de l'invention. En effet, cet écran permet notamment de répartir équipotentiellement le champ électrique à l'intérieur du câble et/ou de faire barrière aux champs électrostatiques extérieurs au câble et/ou écouler les courants capacitifs ou de court-circuiter le long du câble.

#### Couche métallisée d'un matériau carboné

**[0012]** Le câble électrique de l'invention peut comprendre une ou plusieurs couche(s) métallisée(s) d'un matériau carboné.

**[0013]** Le matériau carboné de l'invention comprend plus de 50% en poids d'atomes de carbone, de préférence au moins 80 % en poids d'atomes de carbone, et de façon particulièrement préférée au moins 90% en poids d'atomes de carbone, par rapport au poids total du matériau carboné. La teneur en atomes de carbone dans le matériau carboné peut aller jusqu'à 99% en poids par rapport au poids total du matériau carboné. Dans un mode de réalisation particulier, le matériau carboné comprend uniquement des atomes de carbones.

**[0014]** Plus particulièrement, le matériau carboné est un matériau organique, Le matériau carboné est de préférence un matériau différent d'un matériau polymère constitué de la répétition de plusieurs sous-unités du type monomère.

**[0015]** A titre d'exemple, le matériau carboné de l'invention peut être choisi parmi des fibres carbonées, des nanotubes de carbone, du graphène, du noir de carbone, et un de leurs mélanges.

**[0016]** Les fibres carbonées peuvent être choisies parmi des fibres de carbone, des nanofibres de carbone, des fibres de nanofibres de carbone, des fibres de nanotubes de carbone, des fibres de graphène, et un de leurs mélanges.

**[0017]** De manière particulièrement préférée, la couche métallisée d'un matériau carboné selon l'invention peut comprendre des fibres de carbone. Les fibres de carbone présentent en outre l'avantage d'avoir une mise en oeuvre facilitée lors de la fabrication du câble de l'invention.

**[0018]** Dans la présente invention, une fibre carbonée peut être composée majoritairement d'atomes de carbone cristallins alignés plus ou moins parallèlement à l'axe de la fibre carbonée.

**[0019]** Le matériau carboné est utilisé sous forme d'une couche métallisée entourant une ou plusieurs couche(s) polymérique(s) du câble électrique de l'invention. Plus particulièrement, la couche métallisée forme une enveloppe tout autour de la couche polymère, afin de garantir notamment des propriétés électriques homogènes autour du câble électrique de l'invention. La couche métallisée peut ainsi recouvrir la totalité de la surface extérieure de la couche

polymère. En d'autres termes, la couche métallisée s'étend le long du câble électrique, et entoure ladite couche polymérique sur toute sa périphérie.

**[0020]** La couche métallisée d'un matériau carboné peut être :

- 5 i. une couche comprenant des fibres carbonées, lesdites fibres carbonées étant entourées au moins partiellement, voire en totalité, respectivement par au moins une couche métallique, ou
- ii. une couche d'un matériau carboné, ladite couche étant recouverte au moins partiellement, voire en totalité, par au moins une couche métallique, ou
- 10 iii. une combinaison des variantes i et ii.

**[0021]** Dans la présente invention, la couche formée par le matériau carboné peut être une couche fibreuse ou non fibreuse. Elle peut également être une couche tissée ou non tissée.

**[0022]** A titre d'exemple, la couche métallisée d'un matériau carboné peut être sous forme de tresse, de tapis, ou de ruban.

15 **[0023]** Dans un premier mode de réalisation, relatif plus particulièrement à la variante i, la couche métallisée d'un matériau carboné peut être une couche comprenant des fibres carbonées métallisées ou des mèches de fibres de carbonées métallisées, telles que par exemple des fibres de carbone métallisées ou des fibres de nanotube de carbone métallisées.

20 **[0024]** La couche métallisée d'un matériau carboné de ce premier mode de réalisation est de préférence une couche fibreuse, tissée ou non.

**[0025]** La couche métallisée d'un matériau carboné peut comprendre des fibres carbonées, chacune de ces fibres carbonées étant entourée au moins en partie, voire en totalité, par au moins une couche métallique. De préférence, la couche métallique est directement en contact physique avec la fibre carbonée qu'elle entoure.

25 **[0026]** Les fibres carbonées (non métallisées) peuvent avoir une longueur allant de 100 m à 200 km, de préférence allant de 100 m à 10 km, et plus préférentiellement allant de 100 m à 3 km.

**[0027]** Les fibres carbonées (non métallisées) peuvent avoir un diamètre allant de 0,5  $\mu\text{m}$  à 100  $\mu\text{m}$ , de préférence allant de 1  $\mu\text{m}$  à 50  $\mu\text{m}$ , et plus préférentiellement allant de 5  $\mu\text{m}$  à 10  $\mu\text{m}$ .

**[0028]** Ces valeurs de longueurs ou de diamètres sont données pour les fibres carbonées sans tenir compte de l'éventuelle ou des éventuelles couche(s) métallique(s) les recouvrant.

30 **[0029]** Les fibres carbonées métallisées (i.e. fibres carbonées entourées par une ou plusieurs couche(s) métallique(s)) peuvent avoir une section allant de 0,2  $\mu\text{m}^2$  à 1000  $\mu\text{m}^2$ , de préférence allant de 1  $\mu\text{m}^2$  à 500  $\mu\text{m}^2$ , et plus préférentiellement allant de 10  $\mu\text{m}^2$  à 100  $\mu\text{m}^2$ .

35 **[0030]** Dans un second mode de réalisation, relatif plus particulièrement à la variante ii, la couche métallisée d'un matériau carboné peut être une couche d'un matériau carboné recouverte au moins en partie, voire en totalité, par au moins une couche métallique.

**[0031]** La couche métallisée d'un matériau carboné de ce second mode de réalisation est de préférence une couche fibreuse ou non, et tissée ou non.

40 **[0032]** Dans la présente invention, la couche métallisée d'un matériau carboné peut avoir une conductivité spécifique d'au moins 0,6 %, de préférence d'au moins 8%, de préférence d'au moins 15%, de préférence d'au moins 25%, et encore plus préférentiellement d'au moins 35%.

**[0033]** La conductivité spécifique d'un matériau s'exprime en  $\text{S}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$ , et correspond au rapport de sa conductivité électrique exprimée en siemens par mètre (S/m) divisée par sa masse volumique exprimée en  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

45 **[0034]** La conductivité spécifique d'un matériau, exprimée en %, est déterminée par rapport à la conductivité spécifique à 20°C du cuivre pur recuit qui est de 6524,71  $\text{S}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$ . La masse volumique à 20°C du cuivre pur recuit est de 8890  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . La conductivité électrique (S/m) caractérise l'aptitude d'un matériau à laisser les électrons qu'il contient se déplacer librement sous l'effet d'un champ électrique et donc permettre le passage d'un courant électrique.

50 **[0035]** Plus particulièrement, la couche métallique constitutive de la couche métallisée selon la variante i et/ou selon la variante ii, peut comprendre au moins un métal choisi parmi le cuivre, le zinc, l'étain, l'argent, l'aluminium, le nickel, et un de leurs alliages. Par « alliage », on entend la combinaison ou mélange d'au moins deux métaux, notamment choisis parmi ceux listés ci-dessus.

**[0036]** De préférence, la couche métallique peut comprendre uniquement du cuivre, de l'aluminium, du nickel, de l'étain, ou uniquement un alliage d'un de ces métaux.

**[0037]** La couche métallisée d'un matériau carboné selon l'invention peut donc comprendre au moins un métal ou un alliage de métaux, tel que décrit notamment ci-avant.

55 **[0038]** De façon particulièrement préférée, la couche métallisée d'un matériau carboné peut comprendre au moins un métal ou un alliage de métaux, ayant une conductivité électrique en courant continu égale ou supérieure à celle du zinc (Zn), et de préférence égale ou supérieure à celle de l'aluminium (Al). L'avantage d'utiliser ce type de métal ou d'alliage de métaux est d'optimiser de façon significative la répartition du champ électrique à l'intérieur du câble et/ou

la barrière aux champs électrostatiques extérieurs au câble.

**[0039]** La conductivité électrique en courant continu du zinc et d'autres métaux est bien connue de l'homme du métier. Elle est classiquement déterminée à 20°C. La conductivité électrique de référence utilisée pour les mesures de conductivité électrique est celle du cuivre (Cu), qui est égale à 100%. On peut aussi parler de conductivité électrique en courant continu exprimée en % IACS.

**[0040]** A titre d'exemple, on peut citer les conductivités électriques suivantes : 15% IACS pour l'étain, 25% IACS pour le nickel, 29% IACS pour le zinc, 62% IACS pour l'aluminium, 100% IACS pour le cuivre, 106% IACS pour l'argent.

**[0041]** Lorsque la couche métallisée d'un matériau carboné comprend plusieurs couches métalliques selon l'invention, au moins une des couches métalliques peut comprendre du cuivre ou un alliage de cuivre, la ou les autres couches métallique(s) pouvant comprendre un métal différent du cuivre ou d'un alliage de cuivre, notamment choisi parmi le zinc, le nickel, l'étain, l'argent, l'aluminium, et un de leurs mélanges.

**[0042]** La couche métallique peut être liée par interactions physiques et/ou chimiques, de préférence par liaison covalente, aux fibres carbonées (variante i) et/ou à la couche d'un matériau carboné (variante ii), pour permettre une bonne adhésion de la couche métallique.

**[0043]** Une couche intermédiaire dite « d'adhésion » peut être placée entre la la couche métallique d'une part, et les fibres carbonées ou la couche d'un matériau carboné, d'autre part, afin d'améliorer l'adhésion de la couche métallique. La couche intermédiaire peut être une couche métallique, pouvant comprendre un ou plusieurs métaux choisi(s) parmi l'étain, le nickel, le cuivre, l'aluminium, l'argent, et un de leurs mélanges.

**[0044]** Dans la présente invention, la couche métallique peut avoir une épaisseur moyenne d'au moins 15 nm, de préférence d'au moins 50 nm, de préférence d'au moins 100 nm, de préférence d'au moins 500 nm, et plus préférentiellement d'au moins 1 µm.

**[0045]** De préférence, la couche métallique peut avoir une épaisseur constante sur toute la longueur du câble électrique. Une épaisseur constante signifie que l'épaisseur de la couche métallique peut varier d'au plus ±30% par rapport à l'épaisseur moyenne de la couche métallique, de préférence d'au plus ±20% par rapport à l'épaisseur moyenne de la couche métallique, et plus préférentiellement d'au plus ±10% par rapport à l'épaisseur moyenne de la couche métallique.

**[0046]** Dans la présente invention, l'épaisseur de la couche métallique peut être adaptée selon la nature du métal ou des métaux qu'elle comprend et selon la conductivité souhaitée. En particulier, une couche métallique comprenant un métal ayant une conductivité faible peut être plus épaisse qu'une couche métallique comprenant un métal ayant une conductivité plus élevée.

**[0047]** La couche métallique peut être obtenue par l'un des procédés suivants : électrodéposition, électroplacage (connu sous l'anglicisme « electroplating »), électroplacage sans courant électrique (connu sous l'anglicisme « electroless plating »), évaporation thermique sous vide (connu sous l'anglicisme « heated evaporation »), évaporation par faisceau d'électrons (connu sous l'anglicisme « electron beam évaporation »), pulvérisation cathodique (connu sous l'anglicisme « sputtering »), déposition assistée par faisceau ionique (connu sous l'anglicisme « ion assisted déposition »), enduction par trempage (connu sous l'anglicisme « dip coating »), enduction par vaporisation (connu sous l'anglicisme « spray »), dépôt chimique par phase vapeur (connu sous l'anglicisme « chemical vapor deposition »), dépôt physique par phase vapeur (connu sous l'anglicisme « physical vapor deposition »). Selon un mode de réalisation préféré, la couche métallique peut être réalisée par électrodéposition.

**[0048]** Dans la présente invention, la couche métallisée d'un matériau carbonée peut avoir une conductivité électrique en courant continu d'au moins 0,1% IACS, de préférence d'au moins 5% IACS, et plus préférentiellement d'au moins 10% IACS. En outre, la couche métallisée d'un matériau carbonée peut avoir une conductivité électrique en courant continu d'au plus 50% IACS.

**[0049]** La conductivité électrique d'un matériau s'exprime en siemens par mètre (S/m).

**[0050]** La conductivité électrique d'un matériau, exprimée en % IACS (IACS correspondant à l'anglicisme « International Annealed Copper Standard »), est déterminée par rapport à la conductivité électrique à 20°C du cuivre pur recuit qui est de  $5,8001 \times 10^7$  S/m.

#### Élément électriquement conducteur allongé

**[0051]** Dans la présente invention, on entend par le terme « câble » un câble électrique pouvant être du type câble de transport d'énergie, câble de données, câble de télécommunication, ou câble d'instrumentation.

**[0052]** Plus particulièrement, ce type de câble comprend un ou plusieurs élément(s) électriquement conducteur(s) allongé(s) du type conducteur électrique.

**[0053]** L'élément électriquement conducteur allongé peut être un monoconducteur tel que par exemple un fil métallique, ou un multiconducteur tel qu'une pluralité de fils métalliques, torsadés ou non.

**[0054]** L'élément électriquement conducteur allongé peut être réalisé à partir d'un matériau métallique notamment choisi parmi l'aluminium, un alliage d'aluminium, du cuivre, un alliage de cuivre, et une de leurs combinaisons.

**[0055]** La section (transversale) du conducteur électrique peut aller de 0.1 mm<sup>2</sup> à plus de 240 mm<sup>2</sup>.

Couche polymérique

**[0056]** Dans le câble de l'invention, l'élément électriquement conducteur allongé est entouré par au moins une couche polymérique. De préférence, la couche polymérique est une couche électriquement isolante.

**[0057]** Dans la présente invention, on entend par « couche électriquement isolante » une couche dont la conductivité électrique peut être d'au plus  $1 \cdot 10^{-9}$  S/m (siemens par mètre) (à 25°C).

**[0058]** Dans le câble de l'invention, la couche polymérique est entourée par la couche métallisée d'un matériau carboné.

**[0059]** La couche métallisée d'un matériau carboné peut être directement en contact physique avec la couche polymérique.

**[0060]** On entend par couche polymérique une couche comprenant au moins un polymère, le terme « polymère » en tant que tel signifiant de façon générale homopolymère ou copolymère (e.g. copolymère séquencé, copolymère statistique, terpolymère, ...etc).

**[0061]** Ledit polymère de la couche polymérique peut être avantageusement un polymère d'oléfine (polyoléfine) ou, en d'autres termes, un homo- ou copolymère d'oléfine, et peut être notamment un polymère thermoplastique ou réticulé.

**[0062]** De préférence, le polymère d'oléfine est un polymère d'éthylène ou de propylène.

**[0063]** La couche polymérique de l'invention peut comprendre au moins un polymère choisi parmi un polyéthylène linéaire basse densité (LLDPE), un polyéthylène très basse densité (VLDPE), un polyéthylène basse densité (LDPE), un polyéthylène moyenne densité (MDPE), un polyéthylène haute densité (HDPE), un copolymère d'éthylène et d'acétate de vinyle (EVA), un copolymère d'éthylène et d'acrylate de butyle (EBA), d'acrylate de méthyle (EMA), de 2-hexyléthyl acrylate (2HEA), un copolymère d'éthylène et d'alpha-oléfines, un copolymère d'éthylène et de propylène (EPR), un polyuréthane, un polymère fluoré, un polymère chloré tel qu'un polychlorure de vinyle (PVC), un polyoxyde de phénylène (PPO), un polymère technique, un homopolymère de propylène, un copolymère de propylène, et un de leurs mélanges.

**[0064]** Comme exemple de copolymère d'éthylène et d'alpha-oléfine, on peut citer par exemple les polyéthylène-octène (PEO).

**[0065]** Comme exemple de copolymères d'éthylène et de propylène (EPR), on peut citer les terpolymères d'éthylène propylène diène (EPDM).

**[0066]** On entend par « polymère technique » un polymère ayant des propriétés améliorées, pouvant être notamment choisi parmi un polyphényléthylène éther, un polyamide, le polyétheréthercétone (PEEK), un polyimide, un copolymère d'éthylène fluoré (FEP), un polyéthylène furanoate (PEF), et un de leurs mélanges.

**[0067]** La couche polymérique peut en outre comprendre au moins un additif choisi parmi les antioxydants, les stabilisants, des agents de réticulation, des retardateurs de grillage, des co-agents de réticulation, des agents favorisant la mise en oeuvre tels que des lubrifiants ou des cires, des agents compatibilisants, des agents de couplage, des stabilisants des charges, et un de leurs mélanges.

**[0068]** De préférence, la couche polymérique est une couche dite « HFFR », signifiant en anglais « *Halogen-Free Flame Retardant* », selon la norme IEC 60754 Parties 1 et 2 (2011).

**[0069]** La couche polymérique peut en outre comprendre au moins une charge. La charge de l'invention peut être une charge minérale ou organique. Elle peut être choisie parmi une charge ignifugeante, une charge inerte, et un de leurs mélanges.

**[0070]** A titre d'exemple, la charge ignifugeante peut être une charge hydratée, choisie notamment parmi les hydroxydes métalliques tels que par exemple le dihydroxyde de magnésium (MDH) ou le trihydroxyde d'aluminium (ATH). Ces charges ignifugeantes agissent principalement par voie physique en se décomposant de manière endothermique (e.g. libération d'eau), ce qui a pour conséquence d'abaisser la température de la couche polymérique et de limiter la propagation des flammes le long du dispositif électrique. On parle notamment de propriétés de retard à la flamme, bien connues sous l'anglicisme « *flame retardant* ».

**[0071]** La charge inerte peut être, quant à elle, de la craie, du talc, de l'argile (e.g. le kaolin), du noir de carbone, ou des nanotubes de carbone.

**[0072]** La couche polymérique peut de préférence être extrudée.

**[0073]** La couche polymérique peut être réticulée ou non réticulée. La réticulation peut s'effectuer par les techniques classiques de réticulation bien connues de l'homme du métier telles que par exemple la réticulation peroxyde et/ou l'hydrosilylation sous l'action de la chaleur ; la réticulation silane en présence d'un agent de réticulation ; la réticulation par faisceaux d'électron, rayons gamma, rayons X, ou microondes ; la réticulation par voie photochimique telle que l'irradiation sous rayonnement bêta, ou l'irradiation sous rayonnement ultraviolet en présence d'un photoamorceur. La réticulation est de préférence effectuée selon la technique de réticulation silane.

**[0074]** La couche polymérique peut avoir une épaisseur allant de 10  $\mu\text{m}$  à 30 mm, de préférence de 100  $\mu\text{m}$  à 4 mm, et plus préférentiellement de 100  $\mu\text{m}$  à 1 mm.

Gaine

**[0075]** Le câble électrique de l'invention peut comprendre en outre une gaine, notamment une gaine de protection, entourant la ou les couche(s) métallisée(s) d'un matériau carboné.

**[0076]** De préférence, la gaine peut être la couche la plus à l'extérieure du câble électrique de l'invention.

**[0077]** La gaine est notamment une couche continue et uniforme autour d'au moins la couche métallisée d'un matériau carboné. Elle permet d'assurer la protection du ou des élément(s) électriquement conducteur(s) allongé(s) isolé(s), notamment contre l'humidité, les détériorations d'origine mécanique et/ou les détériorations d'origine chimique. Elle peut aussi protéger contre les dommages mécaniques Cette gaine peut être réalisée classiquement à partir de matériaux thermoplastiques appropriées tels que des HDPE (polyéthylène haute densité), des MDPE (polyéthylène moyenne densité) ou des LLDPE (polyéthylène à basse densité linéaire) ; ou encore des matériaux retardant la propagation de la flamme ou résistant à la propagation de la flamme.

**[0078]** Les polymères cités pour la couche polymérique de l'invention peuvent également être utilisés pour la gaine.

**[0079]** De préférence, la gaine extérieure de protection est une couche électriquement isolante.

**[0080]** La gaine peut avoir une épaisseur allant de 100 µm à 2 mm, de préférence de 100 µm à 1,5 mm, et plus préférentiellement allant de 100 µm à 1 mm.

Câble électrique

**[0081]** Le câble électrique de l'invention peut s'appliquer typiquement, mais non exclusivement, aux domaines des câbles d'énergie à basse tension (notamment inférieure à 6kV), à moyenne tension (notamment de 6 à 45-60 kV) ou à haute tension (notamment supérieur à 60 kV, et pouvant aller jusqu'à 800 kV), qu'ils soient à courant continu ou alternatif.

**[0082]** D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lumière de la description d'exemples non limitatifs de câbles électriques selon l'invention, faits en référence à la figure 1.

**[0083]** La figure 1 représente une vue en coupe transversale d'un câble électrique selon un mode de réalisation de l'invention.

**[0084]** Pour des raisons de clarté, seuls les éléments essentiels pour la compréhension de l'invention ont été représentés de manière schématique, et ceci sans respect de l'échelle.

**[0085]** La figure 1 représente une vue en coupe transversale d'un câble électrique 1 selon un mode de réalisation particulier de l'invention.

**[0086]** Le câble électrique 1 est un câble coaxial comprenant un élément électriquement conducteur allongé 2 entouré par une couche polymérique 3.

**[0087]** La couche polymérique 3 est entourée par une couche métallisée d'un matériau carboné 4 conforme à l'invention.

**[0088]** Une gaine de protection 5 est placée autour de la couche métallisée d'un matériau carboné 4.

**[0089]** Dans cet exemple particulier, la couche polymérique 3 est directement en contact physique avec l'élément électriquement conducteur allongé 2, la couche métallisée d'un matériau carboné 4 est directement en contact physique avec la couche polymérique 3, et la gaine de protection 5 est directement en contact physique avec la couche métallisée d'un matériau carboné 4.

Exemples :

**[0090]** L'exemple qui suit concerne la fabrication d'un câble électrique de l'invention comprenant une couche métallisée d'un matériau carboné selon la variante i de l'invention.

**[0091]** Dans cet exemple de réalisation, une couche métallisée d'un matériau carboné est positionnée autour d'un conducteur électrique isolé. Le câble électrique ainsi formé est du type coaxial, tel que décrit dans la figure 1, mais ne comprend pas la gaine de protection.

**[0092]** Le conducteur électrique isolé comprend un conducteur électrique allongé entouré par au moins une couche polymérique isolante extrudée autour dudit conducteur électrique.

**[0093]** Le conducteur électrique allongé est un conducteur en cuivre, avec un diamètre de 0,885 mm (section nominale de 0,63 mm<sup>2</sup> de classe 1).

**[0094]** La couche polymérique isolante est une couche de polyéthylène réticulé, ayant une épaisseur de 1,05 mm.

**[0095]** Ainsi le conducteur électrique isolé a un diamètre de 3 mm.

**[0096]** Autour de la couche polymérique est positionnée une couche métallisée d'un matériau carbonée, selon l'invention.

**[0097]** Cette couche métallisée d'un matériau carbonée est formée à partir de fibres de carbone (non métallisées) commercialisées par la société TORAY sous la référence TORAYCA T300. Cette référence est commercialisée sous la forme de mèche comprenant 3000 fibres de carbone non métallisées, par mèche. Le diamètre de chaque fibre de

## EP 3 503 125 A1

carbone non métallisée est de 7  $\mu\text{m}$  et la longueur de chaque fibre de carbone est de 200 mètres ou plus.

[0098] La métallisation de ces 3000 fibres de carbone (i.e. une mèche) est réalisée avec du cuivre métallique ( $\text{Cu}^{(0)}$ ), par électrodéposition, le cuivre étant commercialisé par la société SIFCO sous la référence CUIVRE ALCALIN DEPOT EPAIS CODE 5280.

[0099] L'électrodéposition s'effectue avec un appareil du type générateur de courant de la marque TTI sous la référence QPX600DP, pendant environ 5 min, pour obtenir une couche cuivrée d'environ 2  $\mu\text{m}$  d'épaisseur autour de chacune des 3000 fibres de carbone. On obtient alors 3000 fibres de carbone cuivrées.

[0100] Les différentes valeurs de conductivité des 3000 fibres de carbone cuivrées selon l'invention sont rassemblées dans le tableau 1 ci-après. Les différentes valeurs de conductivités du cuivre sont également présentes dans le tableau 1, pour référence.

Tableau 1

|                                 | Conductivité (S/m) | Conductivité (%IACS) | Conductivité spécifique ( $\text{m}^2/\Omega.\text{kg}$ ) | Conductivité spécifique (%) |
|---------------------------------|--------------------|----------------------|---|-----------------------------|
| Référence du cuivre IACS        | $5,8.10^7$         | 100                  | 6525  | 100                         |
| 3000 fibres de carbone cuivrées | $6,0.10^4$         | 0,1                  | 34  | 0,5                         |

[0101] La couche de carbone métallisée selon cet exemple est ensuite obtenue par tressage des fibres de carbone cuivrées pour former un ruban, le tressage étant réalisé par un procédé de tressage bien connu de l'homme du métier.

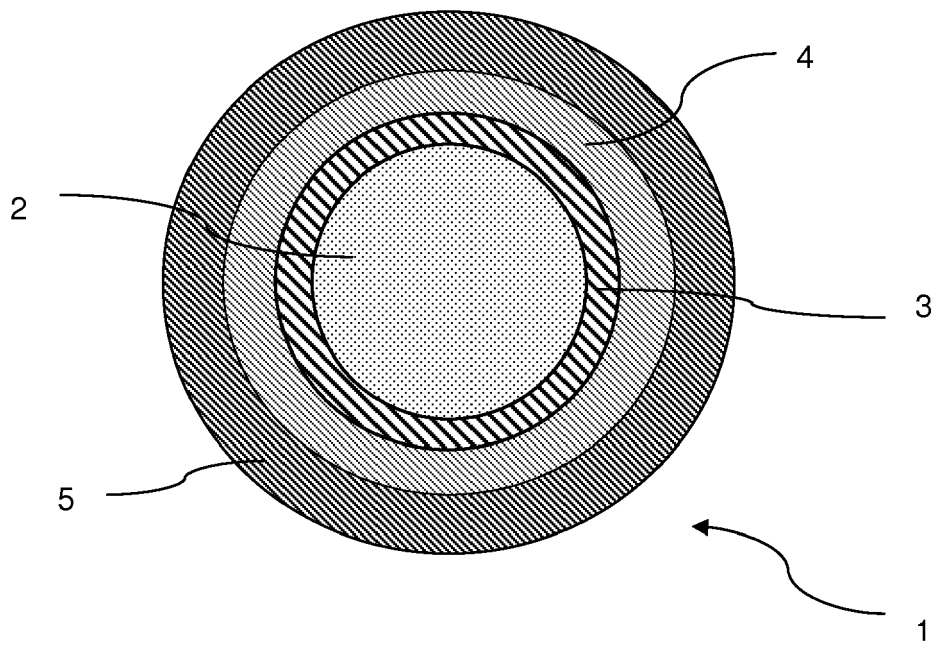
[0102] Ce ruban est ensuite enroulé hélicoïdalement autour du conducteur électrique isolé, pour former la couche métallisée d'un matériau carboné de l'invention.

### Revendications

1. Câble électrique (1) comprenant au moins un élément électriquement conducteur allongé (2) entouré par au moins une couche polymérique (3), **caractérisé en ce que** ladite couche polymérique (3) est entourée par au moins une couche métallisée d'un matériau carboné (4), ledit matériau carboné comprenant plus de 50 % en poids d'atomes de carbone par rapport au poids total du matériau carboné.
2. Câble électrique (1) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le matériau carboné comprend au moins 80 % en poids d'atomes de carbone, et de préférence au moins 90% en poids d'atomes de carbone, par rapport au poids total du matériau carboné.
3. Câble électrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la couche métallisée d'un matériau carboné est une couche comprenant des fibres carbonées entourées au moins partiellement par au moins une couche métallique.
4. Câble électrique (1) selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** la couche métallique est directement en contact physique avec la fibre carbonée qu'elle entoure.
5. Câble électrique (1) selon la revendication 3 ou 4, **caractérisé en ce que** les fibres carbonées ont une longueur allant de 100 m à 200 km, de préférence allant de 100 m à 10 km, et plus préférentiellement allant de 100 m à 3 km.
6. Câble électrique (1) selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, **caractérisé en ce que** les fibres carbonées ont un diamètre allant de 0,5  $\mu\text{m}$  à 100  $\mu\text{m}$ , de préférence allant de 1  $\mu\text{m}$  à 50  $\mu\text{m}$ , et plus préférentiellement allant de 5  $\mu\text{m}$  à 10  $\mu\text{m}$ .
7. Câble électrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la couche métallisée d'un matériau carboné est une couche d'un matériau carboné recouverte au moins en partie par une couche métallique.
8. Câble électrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la couche métallisée d'un matériau carboné (4) a une conductivité spécifique d'au moins 0,6 %.

### EP 3 503 125 A1

9. Câble électrique (1) selon l'une quelconque des revendications 3 à 8, **caractérisé en ce que** ladite couche métallique peut comprendre au moins un métal choisi parmi le cuivre, le zinc, l'étain, l'argent, l'aluminium, et un de leurs alliages.
- 5 10. Câble électrique (1) selon l'une quelconque des revendications 3 à 9, **caractérisé en ce que** la couche métallique a une épaisseur moyenne d'au moins 100 nm, de préférence d'au moins 500 nm, et plus préférentiellement d'au moins 1  $\mu\text{m}$ .
- 10 11. Câble électrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comprend en outre une gaine (5) entourant la couche métallisée d'un matériau carboné (4).
12. Câble électrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la couche métallisée d'un matériau carboné (4) a une conductivité électrique en courant continu d'au moins 0,1% IACS, de préférence d'au moins 5% IACS, et plus préférentiellement d'au moins 10% IACS.
- 15 13. Câble électrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la couche métallisée d'un matériau carboné (4) est un écran de protection électrique.
14. Câble électrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la couche métallisée d'un matériau carboné (4) comprend des fibres de carbone.
- 20 15. Câble électrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la couche métallisée d'un matériau carboné (4) comprend au moins un métal ou un alliage de métaux, ayant une conductivité électrique en courant continu égale ou supérieure à celle du zinc.
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55



**FIG.1**



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande  
EP 18 21 2776

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

| DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS  |   |   |                                      |
|--|---|---|--------------------------------------|
| Catégorie  | Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes                         | Revendication concernée   | CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)       |
| X  | US 2013/025907 A1 (ZHENG MIN [US] ET AL)<br>31 janvier 2013 (2013-01-31)<br>* figure 1 *                | 1-5,7-15  | INV.<br>H01B9/02<br>H01B7/18         |
| X  | US 4 822 950 A (SCHMITT RICHARD J [US])<br>18 avril 1989 (1989-04-18)<br>* figure 1 *                   | 1-4,6,<br>11,13,14  | ADD.<br>H01B7/04                     |
| X  | US 2011/209894 A1 (WILLIAMS MARTHA K [US]<br>ET AL) 1 septembre 2011 (2011-09-01)<br>* figure 1 *       | 1-4,9,<br>11,13-15  |                                      |
| X  | US 6 982 378 B2 (HEWLETT PACKARD<br>DEVELOPMENT CO [US])<br>3 janvier 2006 (2006-01-03)<br>* figure 1 * | 1-4,9,<br>13-15   |                                      |
| A  | US 4 942 090 A (MORIN LOUIS G [US])<br>17 juillet 1990 (1990-07-17)<br>* le document en entier *        | 1-15  |                                      |
|  |   |   | DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) |
|  |   |   | H01B                                 |
| 2 Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications   |   |   |                                      |
| Lieu de la recherche<br><b>La Haye</b>   |   | Date d'achèvement de la recherche<br><b>9 avril 2019</b>  | Examineur<br><b>Alberti, Michele</b> |
| CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES<br>X : particulièrement pertinent à lui seul<br>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie<br>A : arrière-plan technologique<br>O : divulgation non-écrite<br>P : document intercalaire |   | T : théorie ou principe à la base de l'invention<br>E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date<br>D : cité dans la demande<br>L : cité pour d'autres raisons<br>& : membre de la même famille, document correspondant |                                      |

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 18 21 2776

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.  
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

09-04-2019

| 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                               |
|---|------------------------|---|--|
| US 2013025907 A1                                | 31-01-2013             | CN 103748634 A<br>EP 2737495 A1<br>US 2013025907 A1<br>WO 2013016445 A1 | 23-04-2014<br>04-06-2014<br>31-01-2013<br>31-01-2013 |
| US 4822950 A                                    | 18-04-1989             | AUCUN   |  |
| US 2011209894 A1                                | 01-09-2011             | US 2011209894 A1<br>US 2011210749 A1<br>US 2011210750 A1                | 01-09-2011<br>01-09-2011<br>01-09-2011               |
| US 6982378 B2                                   | 03-01-2006             | AUCUN   |  |
| US 4942090 A                                    | 17-07-1990             | AUCUN   |  |

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

**RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION**

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

**Documents brevets cités dans la description**

- US 9466405 B [0005]