

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

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

3 101 475

21 N° d'enregistrement national : 19 10630

51 Int Cl<sup>8</sup> : H 01 B 13/00 (2019.12), H 01 B 17/54, 3/02, H 05 B 3/56

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 26.09.19.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 02.04.21 Bulletin 21/13.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : THERMOCOAX Société par actions simplifiée à associé unique — FR.

72 Inventeur(s) : POTIRON Xavier et PICHON Laurent.

73 Titulaire(s) : THERMOCOAX Société par actions simplifiée à associé unique.

74 Mandataire(s) : IPAZ.

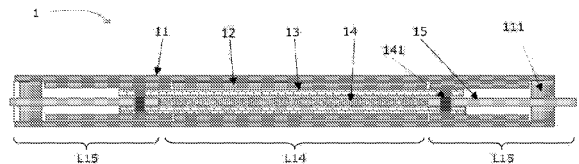
54 « Câble à isolant minéral haute résistivité, et procédé de fabrication ».

57 « Câble à isolant minéral haute résistivité, et procédé de fabrication »

L'invention concerne un câble blindé à isolant minéral (1,1'), dont au moins un conducteur central est réalisé sous la forme d'une poudre compactée à base d'au moins un matériau conducteur.

Le conducteur central (14,16) est formé de poudre de graphite, inséré dans l'ébauche sous forme de poudre, ou de bâtonnets friables en poudre mélangée à un liant qui disparaît lors des étapes de chauffages ultérieures. La poudre peut être d'un seul matériau, ou d'un mélange de plusieurs matériaux. On obtient ainsi un câble souple présentant des propriétés qui ne sont disponibles que pour des matériaux rigides. Par exemple, un tel câble utilisant un conducteur central en poudre de graphite, permet ainsi de réaliser un câble chauffant de très haute résistivité. L'invention propose en outre un procédé de fabrication d'un tel câble, notamment en préparant un conducteur central dans une tresse en silice, et/ou sous forme de bâtonnets friables.

Figure pour l'abrégé: Fig.1



FR 3 101 475 - A1



## Description

### **Titre de l'invention : « Câble à isolant minéral haute résistivité, et procédé de fabrication »**

- [0001] L'invention concerne un câble blindé à isolant minéral, dont au moins un conducteur central est réalisé sous la forme d'une poudre compactée à base d'au moins un matériau conducteur.
- [0002] Le conducteur central est formé de poudre de graphite, inséré dans l'ébauche sous forme de poudre, ou de bâtonnets friables en poudre mélangée à un liant qui disparaît lors des étapes de chauffages ultérieures. La poudre peut être d'un seul matériau, ou d'un mélange de plusieurs matériaux. On obtient ainsi un câble semi-rigide déformable présentant des propriétés qui ne sont disponibles que pour des matériaux rigides. Par exemple, un tel câble utilisant un conducteur central en poudre de graphite, permet ainsi de réaliser un câble chauffant de très haute résistivité. L'invention propose en outre un procédé de fabrication d'un tel câble, notamment en préparant un conducteur central dans une tresse en silice, et/ou sous forme de bâtonnets friables.

#### **Etat de la technique**

- [0003] Le câble blindé à isolant minéral est utilisé pour réaliser, en particulier, des capteurs, des éléments chauffants et des câbles de transmission de signaux ; dans de nombreux domaines où de tels composants sont soumis à des environnements sévères, notamment en termes de température.
- [0004] Un tel câble est typiquement composé d'un ou plusieurs conducteurs, entourés d'une épaisseur d'isolant sous la forme d'une poudre minérale compactée, par exemple du MgO (oxyde de magnésium, ou magnésie). L'ensemble est enfermé dans une gaine étanche en métal. Cette gaine est classiquement réalisée en acier inox, en inconel ou en alliages réfractaires résistant à haute température, afin de résister à de hautes températures pendant la fabrication puis pendant l'utilisation. L'ensemble donne un câble présentant une certaine souplesse, qui permet de l'installer dans des emplacements et selon des formes variés et irréguliers. Un tel câble est par exemple fixé sur un support par pontets soudés, par soudage ou par brasage, ou par tout autre procédé adapté à l'application.
- [0005] Le conducteur central est réalisé dans un métal choisi selon les besoins de l'application, par exemple pour obtenir une résistivité déterminée. Les caractéristiques pouvant être obtenues restent cependant limitées par les propriétés des métaux et alliages métalliques existants.
- [0006] Ainsi, il reste utile de pouvoir réaliser un câble à isolant minéral dont le conducteur présente des propriétés plus variées.

- [0007] Par exemple, il existe un besoin pour réaliser des résistances chauffantes capables de dissiper de faibles puissances sous haute tension. Pour cela, on utilise un câble blindé à isolant minéral dont le conducteur central possède une forte résistivité, par exemple du nickel-chrome 80-20, ou un alliage fer-chrome-aluminium comme celui vendu sous le nom Kanthal.
- [0008] Pour obtenir des résistances plus élevées dans une longueur donnée, il est aussi connu de prévoir plusieurs conducteurs centraux connectés en série, ou un conducteur "spiralé" pour en augmenter la longueur ; mais la fabrication en est plus complexe et ces configurations présentent aussi des limites en terme de valeurs atteignables pour la résistance.
- [0009] Il est ainsi utile de disposer de plus grandes plages de résistivité pour un tel câble blindé à isolant minéral.
- [0010] Un but de l'invention est de pallier en tout ou partie les inconvénients de l'état de la technique, et d'augmenter les plages de propriétés disponibles et les valeurs intermédiaires pouvant être obtenues pour un câble blindé à isolant minéral, en particulier en matière de résistivité mais aussi pour d'autres propriétés, par exemple pour la tenue en température ou le fonctionnement sous une tension élevée.
- [0011] Ces objectifs sont recherchés tout en améliorant ou optimisant les contraintes de complexité et souplesse de conception, de fabrication, d'installation, d'utilisation et de maintenance, ainsi que les performances en matière de compacité et tenue à l'environnement, et l'optimisation de compromis entre ces différents paramètres.

### **Présentation de l'invention**

- [0012] L'invention propose un câble blindé à isolant minéral, comprenant un ou plusieurs conducteurs dit centraux, entourés par au moins une couche d'isolant minéral sous forme de poudre compactée, l'ensemble étant enfermé dans une gaine souple d'un matériau étanche, notamment réfractaire et ductile, et de préférence métallique.
- [0013] Selon l'invention, ce câble comprend au moins un conducteur central réalisé sous la forme d'une poudre compactée à base d'au moins un matériau conducteur. Cette poudre est de préférence compactée mais non frittée, c'est-à-dire conservant une liberté de déplacement des grains entre eux. Le conducteur central est formé ainsi dans sa totalité, ou en partie et par exemple par portions se succédant sur la longueur.
- [0014] L'invention permet ainsi d'utiliser, pour réaliser le conducteur central, de nombreux matériaux qui ne présentent pas la ductilité nécessaire pour réaliser un tel câble déformable. En effet, le fait de préparer ce conducteur sous forme de poudre dès le départ permet de maintenir un contact entre les particules lors des déformations du câble, et donc de maintenir une certaine stabilité des propriétés électriques de l'ensemble. A contrario, une telle stabilité ne pourrait pas être obtenue de façon aussi régulière si le

conducteur était un matériau rigide qui soit ultérieurement brisé ou émiété.

- [0015] Cela ouvre un très grand choix de nouveaux matériaux, et donc de nouvelles propriétés. Ce choix plus large permet aussi d'utiliser des matériaux qui présentent d'autres avantages, par exemple des matériaux plus disponibles, plus faciles à extraire ou produire, moins coûteux, moins polluants, et/ou plus faciles à recycler. Le ou les matériaux sont choisis typiquement pour leurs propriétés électriques, en particulier leur résistivité.
- [0016] On notera qu'un tel conducteur central sous forme de poudre peut être utilisé avec n'importe quel type de gaine couramment utilisé et/ou d'isolant déjà connu, voire déjà référencé pour une utilisation ou un environnement donné. En utilisant un tel conducteur central, il est donc possible d'obtenir des caractéristiques électriques "internes" différentes sans pour autant modifier ses caractéristiques vis-à-vis de l'extérieur. Il est ainsi particulièrement aisé de justifier la tenue d'un tel câble selon l'invention vis-à-vis de son environnement, par comparaison à un produit déjà qualifié avec le même type de gaine et/ou d'isolant.
- [0017] Typiquement, la poudre du conducteur central présente une granulométrie déterminée, par exemple d'un diamètre médian  $d_{50}$  compris entre 100 et 200 microns (si  $d_{50}$  est le diamètre médian dans une répartition gaussienne des diamètres apparents des particules) ; et/ou une granulométrie uniforme ou sensiblement uniforme.
- [0018] Typiquement, ce câble comprend une ou plusieurs portions, dites parties froides, dans lesquelles le conducteur central sous forme de poudre se prolonge de façon conductrice sous la forme d'un métal solide, par exemple en cuivre ou en nickel. Ces parties froides sont notamment agencées pour réaliser des portions de connexion, par exemple aux deux extrémités du câble.
- [0019] Selon une famille de modes de réalisation, le conducteur central sous forme de poudre est formé en tout ou partie de graphite, et notamment d'une composition majoritairement de graphite.
- [0020] Les inventeurs ont constaté que le graphite sous forme de poudre permet d'obtenir une âme conductrice qui présente une certaine souplesse, permettant de réaliser un câble blindé à isolant minéral adapté à tout ou partie des applications existantes ou demandées tout en présentant une résistivité bien plus importante. En effet, la résistivité du graphite est de l'ordre de douze fois plus que celle du NiCr 20-80.
- [0021] Or, si le graphite est connu en tant que matériau conducteur, il présente une structure rigide et cassante qui le rend impossible à utiliser dans un câble d'une élongation importante sans qu'il se brise, et encore moins dans un câble déformable. De plus, la fabrication d'un câble blindé à isolant minéral nécessite plusieurs phases de compactage de l'isolant minéral, typiquement par martelage, ce qui briserait inmanquablement un conducteur rigide en graphite.

- [0022] Ainsi, l'invention permet de réaliser un câble semi-rigide présentant des caractéristiques électriques proches ou dérivées de celles du graphite, et par exemple de réaliser ainsi un câble blindé à isolant minéral d'une résistivité beaucoup plus élevée que dans l'art antérieur.
- [0023] Par semi rigide, on entend ici un câble déformable, c'est-à-dire qui peut être déformé pour être mis en forme ; mais qui reste suffisamment rigide pour conserver la forme qu'on lui aura imposée, au moins sous l'effet de son propre poids
- [0024] Optionnellement, la poudre du conducteur central comprend un mélange d'au moins deux matériaux présentant des propriétés différentes, et choisis pour que ledit mélange fournisse une combinaison déterminée desdites propriétés. En particulier, ce mélange est choisi pour obtenir des propriétés électriques déterminées.
- [0025] Plus particulièrement, la poudre du conducteur central comprend un mélange de deux matériaux présentant des résistivités différentes, dans une proportion déterminée pour que le mélange produise pour ledit conducteur central une valeur déterminée de résistivité.
- [0026] Il est ainsi possible de choisir avec beaucoup de souplesse la les propriétés que l'on souhaite obtenir, simplement en faisant varier les proportions du mélange.
- [0027] Un tel mélange permet par exemple d'obtenir une résistivité du mélange qui soit intermédiaire entre celles des matériaux utilisés, par exemple dans une proportion qui est choisie en choisissant les proportions du mélange.
- [0028] On obtient ainsi une grande souplesse dans le choix de la résistivité du câble final, et donc dans la conception de nombre de systèmes utilisant un tel câble.
- [0029] En outre ou alternativement, selon les composants choisis pour le mélange et leurs proportions, un tel mélange permet aussi de d'obtenir d'autres propriétés, y compris des propriétés comportementales telle qu'une variation brusque de la résistance en fonction de la température, ou une variation linéaire de la résistance en fonction de la température.
- [0030] Un tel mélange peut être un mélange de poudres, et/ou une poudre dont les grains sont eux-mêmes formée d'un mélange. Il est par exemple possible d'utiliser un mélange nickel/ferro-nickel, ou à base d'oxyde de manganèse MnO et d'un ou plusieurs oxydes dérivés du MnO tels que  $Mn_2O_3$  ou  $Mn_3O_4$ , ou un mélange de plusieurs oxydes, ou un mélange de type constantan/nickel-chrome.
- [0031] D'autres matériaux comme les ferro-nickel présentent des caractéristiques de variation de résistance en fonction de la température, qui sont utiles pour certaines applications, mais avec de faibles résistances. L'utilisation sous forme de poudre proposée par l'invention permet d'augmenter la résistance obtenue, tout en exploitant ces caractéristiques de variation de la résistance.
- [0032] En utilisant des oxydes, seuls ou sous forme de mélange avec un oxyde de type MnO

par exemple, on peut ainsi obtenir une très forte variation de résistance à la baisse.

- [0033] Selon un autre aspect, l'invention propose une résistance chauffante comprenant un câble blindé à isolant minéral tel qu'exposé ici.
- [0034] Selon un mode de réalisation, le câble à isolant minéral (1) comprend un ou plusieurs conducteurs centraux sous forme de poudre, qui sont entourés de poudre isolante (12) et forment chacun un conducteur chauffant.
- [0035] Selon un autre mode de réalisation, pouvant être combiné avec le précédent en une portion différente au sein d'un même câble, son câble blindé à isolant minéral comprend plusieurs conducteurs d'alimentation, notamment métalliques, qui sont distincts et écartés l'un de l'autre et sont noyés dans un conducteur central sous forme de poudre sur tout ou partie de la longueur dudit câble, réalisant ainsi une connexion électrique résistante entre lesdits conducteurs d'alimentation par l'intermédiaire dudit conducteur central sous forme de poudre, ladite une connexion électrique résistante formant ainsi une partie chauffante lorsque que les conducteurs d'alimentation sous soumis à une tension électrique.
- [0036] Selon une autre option, le câble blindé à isolant minéral comprend au moins un conducteur central sous forme de poudre qui présente une forme non rectiligne et notamment "spirale", c'est enroulé sur lui-même autour d'un axe sensiblement longitudinal, par exemple de façon hélicoïdale. Typiquement, les "spires" ne sont pas en contact conducteur entre elles, par exemple par isolation au moyen d'une tresse qui contient la poudre conductrice formant le conducteur central.
- [0037] Selon encore un autre aspect, l'invention propose en outre un procédé de fabrication d'un câble blindé à isolant minéral comprenant un ou plusieurs conducteurs dit centraux, entourés par au moins une couche d'isolant minéral sous forme de poudre compactée, l'ensemble étant enfermé dans une gaine souple d'un matériau étanche, notamment réfractaire et ductile, et de préférence métallique.
- [0038] Selon l'invention, ce procédé comprend les étapes suivantes :
- [0039] – préparation d'une ébauche présentant un diamètre extérieur initial, et comprenant :
- au moins un conducteur central réalisé en tout ou partie sous la forme d'une poudre compactée à base d'au moins un matériau conducteur,
  - une couche d'isolant minéral, réalisée sous forme de poudre compactée entourant ledit conducteur central, et
  - une gaine souple d'un matériau étanche, notamment réfractaire et ductile, et de préférence métallique ;
- une ou plusieurs passes de réduction, par exemple par tréfilage ou pétrissage, agencées pour réduire le diamètre extérieur dudit câble jusqu'à un diamètre final inférieur au diamètre initial, et produire un compactage des poudres

comprises dans ledit câble.

- [0040] Typiquement, une ou plusieurs passes de réduction sont suivies d'une étape de recuit agencé pour dissiper les contraintes internes provoquées par ladite passe de réduction. De préférence, tout ou partie de ces étapes de recuit sont réalisées à une température déterminée suffisamment faible pour limiter ou éviter tout frittage entre les grains de la poudre du conducteur central.
- [0041] Optionnellement, l'étape de préparation de l'ébauche comprend une préparation du au moins un conducteur central par insertion de sa poudre dans une gaine, laquelle gaine est entourée par l'isolant minéral, notamment une tresse en silice.
- [0042] Alternativement ou en combinaison, l'étape de préparation de l'ébauche comprend une préparation d'un ou plusieurs conducteurs centraux sous la forme d'un bâtonnet formé par un mélange comprenant la poudre dudit conducteur central et un liant, ledit liant étant d'un type choisi pour être dégradé et/ou évaporé par la chaleur lors d'une étape ultérieure de chauffage au sein dudit procédé de fabrication.
- [0043] Typiquement, ce bâtonnet est obtenu par extrusion à froid du mélange comprenant la poudre et le liant.
- [0044] Des modes de réalisation variés de l'invention sont prévus, intégrant selon l'ensemble de leurs combinaisons possibles les différentes caractéristiques optionnelles exposées ici.

### **Brève description des dessins**

- [0045] D'autres particularités et avantages de l'invention ressortiront de la description détaillée d'un mode de mise en œuvre nullement limitatif, et des dessins annexés sur lesquels :
- [0046] [fig.1] : la Fig.1 est un schéma en coupe longitudinale qui illustre un exemple de structure d'un câble blindé à isolant minéral, selon un exemple de mode de réalisation de l'invention, avec un unique conducteur central en poudre de graphite au sein d'une tresse de silice ;
- [0047] [fig.2] : la Fig.2 est un schéma en coupe longitudinale qui illustre un exemple de structure d'un câble blindé à isolant minéral, selon un autre exemple de mode de réalisation de l'invention, avec deux conducteurs métalliques connectés entre eux par un conducteur central sous forme de poudre, sur certaines portions de sa longueur.

### **Description des modes de réalisation**

- [0048] L'invention propose ainsi de fabriquer un câble blindé à isolant minéral dont le (ou plusieurs) conducteur présente, à l'issue de la fabrication, la forme d'une poudre fortement compactée. Cette poudre se comporte ainsi comme un conducteur continu, avec des caractéristiques électriques déterminées qui dépendent de sa composition voire de son degré de compactage, mais qui garde une souplesse suffisante pour

permettre une déformation du câble sans perdre ses caractéristiques.

- [0049] Ce compactage est en grande partie obtenu, voire en totalité, par l'effet des pressions que subit le câble lors des étapes de sa fabrication.
- [0050] Un exemple de mode de réalisation de l'invention est illustré en Fig.1, appliqué à la réalisation d'un câble chauffant.
- [0051] Le câble 1 est préparé sous la forme d'une ébauche, qui est montée par assemblage de ses différents composants finaux. Ainsi, une gaine extérieure étanche 11 (par exemple en inox 304L) contient une couche d'isolant minéral 12 (par exemple sous la forme de MgO), qui entoure le conducteur central. Ce conducteur central est ici formé par une poudre conductrice 14 (ici de graphite) enfermée à l'intérieur de l'isolant 12. Dans cet exemple, la poudre conductrice 15 est enfermée pour le montage dans une enveloppe 13. Cette enveloppe est de préférence souple et résistante à la chaleur, par exemple sous la forme d'une tresse en fibres minérales, ici une tresse en silice. Selon les besoins, elle peut être prévue pour être détruite lors de la suite des passes de réduction par exemple par la montée en température ; ou pour subsister à l'issue de la fabrication, et possiblement participer ainsi au maintien de l'intégrité du conducteur central 14 au cours de ses déformations.
- [0052] Le conducteur central en poudre 14 présente ici une longueur L14 correspondant à la longueur utile du câble 1. De façon à pouvoir se raccorder électriquement sur le câble, il est par exemple prévu des parties froides L15 d'une structure classique, par exemple en cuivre. Le câble sera alors facile à dénuder et identique à l'utilisation d'un câble classique.
- [0053] Aux extrémités du câble 1, dans les parties froides, le conducteur central poudreux 14 est connecté à un conducteur métallique 15 (ici en cuivre) qui se prolonge jusqu'au connecteur de branchement. Ce conducteur métallique 15 traverse ici un bouchon interne 141 qui participe au maintien axial de la poudre du conducteur central 14, contre laquelle est compactée l'extrémité intérieure du conducteur métallique 15 pour assurer la connexion électrique. Dans cet exemple, un bouchon externe 111 traversé par le conducteur métallique 15 referme la gaine étanche 11 à l'extrémité du câble 1, de façon à maintenir l'étanchéité aux gaz de cette gaine 11 et isoler la poudre conductrice 14 de l'environnement extérieur.
- [0054] Typiquement, mais non obligatoirement, ce bouchon interne 141 est installé provisoirement pendant le procédé de fabrication. Il est ensuite coupé, par exemple lors du sertissage des connecteurs d'extrémité ou pour être remplacé par un bouchon de stockage (par exemple sous forme de résine ou brasure).
- [0055] Le graphite est ainsi enfermé dans le câble, ce qui évite ou limite les réactions possibles avec les composants extérieurs. Dans le cas d'une poudre susceptible de réagir à la chaleur, comme le graphite en présence d'oxygène, l'intérieur de la gaine 11

est de préférence sous vide ou sous gaz neutre.

- [0056] La qualité du transfert thermique reste optimum car le graphite est en contact avec la MgO ou avec une tresse en silice qui peut être ajoutée pour contenir la poudre au centre de l'ébauche lors du montage.
- [0057] Le graphite est par exemple versé puis compacté dans la tresse, qui est alors utilisée pour monter l'ébauche de façon classique.
- [0058] Dans cet exemple, l'ébauche ainsi montée a un diamètre initial de l'ordre de 16mm. Cette ébauche est alors travaillée en lui faisant subir une ou plusieurs passes de réduction, par exemple tréfilage ou pétrissage, par exemple de façon similaire au processus de fabrication d'un câble classique.
- [0059] Ces passes de réduction sont suivies d'étapes de recuit qui permettent de dissiper les contraintes internes provoquées par les déformations mécaniques de ces réductions, et ainsi maintenir les caractéristiques mécaniques de la gaine et du conducteur cuivre tout au long de la réduction.
- [0060] Ces recuits, ou au moins le dernier d'entre eux, sont ajustés en température pour ne pas provoquer de frittage, et éviter ou limiter les risques de soudure entre les grains de la poudre du conducteur central. Cela permet de lui conserver sa souplesse, et de lui assurer les caractéristiques électriques qui sont le propre de son état de poudre compactée.
- [0061] De préférence mais non obligatoirement, l'ébauche est réalisée avec un conducteur central présentant la forme d'un bâtonnet, d'une consistance pouvant être rigide, de préférence, ou semi-rigide ou souple. Ce bâtonnet est fabriqué à partir de poudre conductrice (ici de la poudre de graphite) mélangée à une formulation organique réalisant un liant.
- [0062] Ce liant est d'un type choisi pour être dégradé et/ou évaporé par la chaleur lors d'une étape ultérieure de chauffage au sein dudit procédé de fabrication. Il s'agit par exemple d'un produit de type ethylcellulose, ou d'un liant de type connu, qui est évaporé à une température de plus de 500°C.
- [0063] La pâte ainsi obtenue est par exemple extrudée pour former les bâtonnets souhaités, à froid ou à une température inférieure à la température de dégradation du liant. En choisissant le ou les liants adéquats, elle peut être formulée pour rester pâteuse, mais aussi pour prendre une consistance cohérente, souple ou rigide.
- [0064] Ces bâtonnets présentent ainsi une tenue mécanique suffisante pour être ensuite utilisés pour monter l'ébauche, et sont de préférence rigides, par exemple par des méthodes connues.
- [0065] L'ébauche subit ensuite le même type de passes de réduction et recuits qu'exposé précédemment. Pendant la fabrication du câble, la haute température des recuits évacuera le liant du mélange, par exemple lors du ou des premiers chauffages. Il ne reste donc

plus à l'intérieur de l'isolant que la poudre conductrice, qui se compacte lors des passes de réduction. On obtient ainsi un conducteur sous forme de poudre, en évitant les inconvénients liés à la manipulation initiale de la poudre pour la réalisation de l'ébauche et en stabilisant cette poudre pour la manipulation de l'ébauche avant et pendant les premières passes de réduction.

[0066] Cet exemple a été testé en fabriquant un prototype d'un diamètre de 3.2mm, de longueur chaude 2.85m, et a été testé jusqu'à 850°C environ.

[0067] Le câble blindé à isolant minéral ainsi obtenu a été monté en fil chauffant, et a été alimenté au maximum des possibilités de l'alimentation de test, à savoir 637V et 4.57A. La résistance du câble à 20°C pour ce diamètre était environ de 67 Ohm/m.

[0068] A titre de comparaison, un câble selon l'invention a été comparé avec un câble blindé à isolant minéral d'un type connu, ce dernier étant à conducteur central en NiCr80-20 et isolant MgO, avec des parties froides en cuivre et une gaine en inox 304L.

[0069] Avec un câble selon l'art antérieur présentant une géométrie classique de l'ordre de 34% (ratio entre le conducteur et le diamètre extérieur du câble), on obtient les résistances mentionnées dans le tableau suivant :

[0070] [Tableaux1]

	Résistance (Ohm/m) avec conducteur Nickel-chrome 80-20 standard	
diamètre (mm)	Monofilaire (34%)	Bifilaire (21%)
d = 1.5 mm	5.56	27.8
d = 2 mm	3.13	15.6
d = 3 mm	1.39	6.9

[0071] De façon usuelle, les tensions maximales admissibles pour un élément chauffant d'une géométrie standard sont définies dans le tableau suivant :

[0072] [Tableaux2]

	0.5mm	1mm	1.5mm	2mm	2.5mm	3mm	4mm
monofilaire	100V	100V	230V	230V	230V	400V	500V
bifilaire	100V	230V	230V	230V	230V	400V	-

[0073] Comme on le constate, l'invention a permis d'obtenir une résistance du câble à 20°C de 67 Ohm/m pour un diamètre de 3.2mm, soit une augmentation de la résistivité d'un facteur de 48 par rapport au câble classique de 3mm monofilaire en nickel-chrome qui présente une valeur de 1.39 Ohm/m.

[0074] L'invention permet aussi d'autres ajustements de résistance en jouant sur la section du

bâtonnet en graphite, qui est un paramètre facile à régler dans une extrusion à froid.

[0075] Un deuxième exemple de mode de réalisation de l'invention est illustré en Fig.2, appliqué à la réalisation d'un câble chauffant et qui ne sera décrit que dans ses différences. L'ébauche 1' comprend deux conducteurs d'alimentation 15, par exemple métalliques, qui sont prévus pour être portés à des tensions différentes. Ces deux conducteurs d'alimentation 15 sont noyés dans un conducteur central sous forme de poudre 16, qui est par exemple réalisé sous la forme d'un ou de plusieurs bâtonnets. Un courant électrique circule donc entre les conducteurs d'alimentation 15, à travers cette poudre résistante 16, réalisant ainsi un chauffage.

[0076] Dans le présent exemple, ce conducteur central sous forme de poudre 16 n'est présent que sur certaines portions longitudinales du câble 1'. Dans les autres portions, il est remplacé par une poudre isolante, ici la même que celle de l'isolant extérieur 12.

[0077] On obtient ainsi des parties froides dans les parties entièrement isolées, et des parties chauffantes là où se trouve le conducteur central sous forme de poudre 16.

[0078] Optionnellement, en dehors des extrémités du câble, le ou les conducteurs d'alimentation 15 peuvent être réalisés aussi sous forme de poudre résistante. De la même façon que dans l'exemple de la Fig.1, ils constituent alors aussi une source de chauffage. Ces conducteurs d'alimentation en poudre résistante peuvent être combinés avec des conducteurs d'alimentation métalliques, en parallèle ou sur différentes portions longitudinales, et fournir ainsi des parties plus ou moins chaudes selon leur implantation.

[0079] Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits et de nombreux aménagements peuvent être apportés à ces exemples sans sortir du cadre de l'invention.

## Revendications

- [Revendication 1] Câble blindé à isolant minéral (1, 1'), comprenant un ou plusieurs conducteurs dit centraux, entourés par au moins une couche d'isolant minéral (12) sous forme de poudre compactée, l'ensemble étant enfermé dans une gaine (11) souple d'un matériau étanche, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un conducteur central (14, 16) réalisé en tout ou partie sous la forme d'une poudre compactée à base d'au moins un matériau conducteur.
- [Revendication 2] Câble selon la revendication précédente, caractérisé en ce que la poudre du conducteur central présente une granulométrie déterminée par une valeur  $d_{50}$  comprise entre 100 et 200 microns.
- [Revendication 3] Câble selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend une ou plusieurs portions, dites parties froides (L15), dans lesquelles le conducteur central sous forme de poudre se prolonge de façon conductrice sous la forme d'un métal solide (15), notamment en cuivre ou nickel.
- [Revendication 4] Câble selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le conducteur central sous forme de poudre est formé en tout ou partie de graphite.
- [Revendication 5] Câble blindé à isolant minéral selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la poudre du conducteur central comprend un mélange d'au moins deux matériaux présentant des propriétés différentes, et choisis pour que ledit mélange fournisse une combinaison déterminée desdites propriétés.
- [Revendication 6] Câble blindé à isolant minéral selon la revendication précédente, caractérisé en ce que la poudre du conducteur central comprend un mélange de deux matériaux présentant des résistivités différentes, dans une proportion déterminée pour que le mélange produise pour ledit conducteur central une valeur déterminée de résistivité.
- [Revendication 7] Résistance chauffante comprenant un câble blindé à isolant minéral (1, 1') selon l'une quelconque des revendications précédentes.
- [Revendication 8] Résistance selon la revendication précédente, caractérisé en ce que le câble à isolant minéral (1) comprend un ou plusieurs conducteurs centraux sous forme de poudre, qui sont entourés de poudre isolante (12) et forment chacun un conducteur chauffant.
- [Revendication 9] Résistance selon l'une quelconque des revendications 7 à 8, caractérisé en ce que son câble blindé à isolant minéral (1') comprend plusieurs

conducteurs d'alimentation (15), notamment métalliques, qui sont distincts et écartés l'un de l'autre et sont noyés dans un conducteur central sous forme de poudre (16) sur tout ou partie de la longueur dudit câble (1'), réalisant ainsi une connexion électrique résistante entre lesdits conducteurs d'alimentation (15) par l'intermédiaire dudit conducteur central sous forme de poudre (16), ladite une connexion électrique résistante formant ainsi une partie chauffante lorsque que les conducteurs d'alimentation (15) sous soumis à une tension électrique.

[Revendication 10] Résistance selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, caractérisé en ce que le câble blindé à isolant minéral comprend au moins un conducteur central sous forme de poudre qui présente une forme non rectiligne, et notamment une forme en enroulement longitudinal.

[Revendication 11] Procédé de fabrication d'un câble blindé à isolant minéral comprenant un ou plusieurs conducteurs dit centraux, entourés par au moins une couche d'isolant minéral sous forme de poudre compactée, l'ensemble étant enfermé dans une gaine souple d'un matériau étanche, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

- préparation d'une ébauche (1, 1') présentant un diamètre extérieur initial, et comprenant :
  - au moins un conducteur central (14, 16) réalisé en tout ou partie sous la forme d'une poudre compactée à base d'au moins un matériau conducteur,
  - une ou plusieurs couches d'isolant minéral (12), réalisée sous forme de poudre compactée entourant ledit conducteur central, et
  - une gaine (11) souple d'un matériau étanche ;
- une ou plusieurs passes de réduction agencées pour réduire le diamètre extérieur dudit câble jusqu'à un diamètre final inférieur au diamètre initial, et produire un compactage des poudres comprises dans ledit câble.

[Revendication 12] Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'une ou plusieurs passes de réduction sont suivies d'une étape de recuit agencé pour dissiper les contraintes internes provoquées par ladite passe de réduction.

[Revendication 13] Procédé selon l'une quelconque des revendications 11 à 12, caractérisé en ce que l'étape de préparation de l'ébauche (1, 1') comprend une pré-

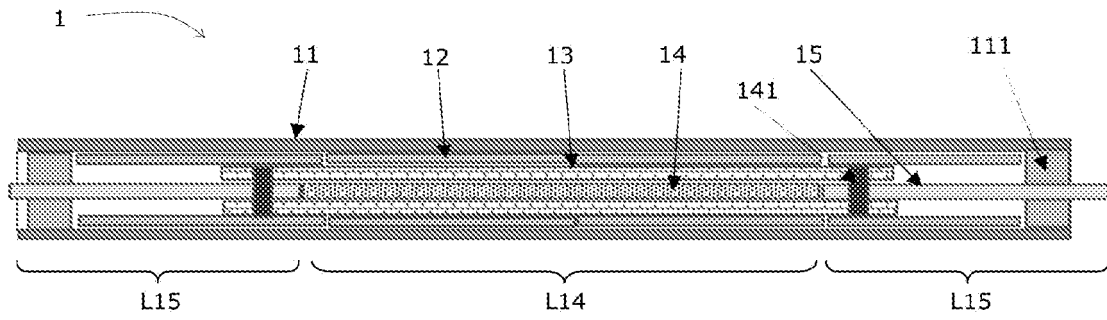
paration du au moins un conducteur central par insertion de sa poudre dans une gaine, laquelle gaine est entourée par l'isolant minéral, notamment une tresse en silice (13).

[Revendication 14] Procédé selon l'une quelconque des revendications 11 à 13, caractérisé en ce que l'étape de préparation de l'ébauche (1, 1') comprend une préparation du au moins un conducteur central (14, 16) sous la forme d'un bâtonnet formé par un mélange comprenant la poudre dudit conducteur central et un liant, ledit liant étant d'un type choisi pour être dégradé et/ou évaporé par la chaleur lors d'une étape ultérieure de chauffage au sein dudit procédé de fabrication.

[Revendication 15] Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que bâtonnet est obtenu par extrusion à froid du mélange comprenant la poudre et le liant.

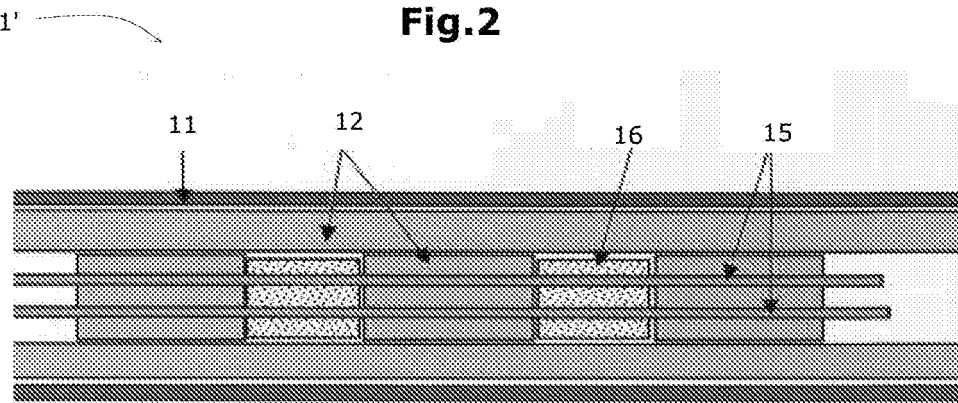
[Fig. 1]

**Fig.1**



[Fig. 2]

**Fig.2**



**RAPPORT DE RECHERCHE  
 PRÉLIMINAIRE**

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

 N° d'enregistrement  
 national

 FA 872827  
 FR 1910630

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	CN 1 555 213 A (XIANDAI HEATING AND MOUNTING E [CN]) 15 décembre 2004 (2004-12-15) * revendications 1,2; figure 1 * -----	1-3,5-9	H01B13/00 H01B17/54 H01B3/02 H05B3/56
X	JP H07 245175 A (SUKEGAWA ELEC) 19 septembre 1995 (1995-09-19) * alinéas [0010], [0011], [0012], [0015], [0016]; revendication 1 *	1,3-9,11	
Y		10,12, 14,15	
A		13	
Y	US 2005/118346 A1 (GOEB OLIVER [DE] ET AL) 2 juin 2005 (2005-06-02) * alinéas [0015], [0021] *	12,14,15	
Y	CN 203 136 207 U (LIN ZHONG) 14 août 2013 (2013-08-14) * figure 1 * -----	10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H05B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
22 avril 2020		Garcia Congosto, M	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date	
autre document de la même catégorie		de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		.....	
		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1910630 FA 872827**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **22-04-2020**  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
CN 1555213	A	15-12-2004	AUCUN	
-----				
JP H07245175	A	19-09-1995	JP 2692031 B2	17-12-1997
			JP H07245175 A	19-09-1995
-----				
US 2005118346	A1	02-06-2005	AT 380982 T	15-12-2007
			DE 10353973 A1	02-06-2005
			EP 1536180 A1	01-06-2005
			ES 2294418 T3	01-04-2008
			JP 2005147655 A	09-06-2005
			KR 20050048474 A	24-05-2005
			US 2005118346 A1	02-06-2005
-----				
CN 203136207	U	14-08-2013	AUCUN	
-----				