

(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
20 octobre 2011 (20.10.2011)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2011/128544 A1

(51) Classification internationale des brevets :
B29C 53/58 (2006.01) F16L 53/00 (2006.01)
F16L 1/20 (2006.01) F17D 1/18 (2006.01)
F16L 9/12 (2006.01) H05B 3/14 (2006.01)
F16L 9/128 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2011/050598

(22) Date de dépôt international :
22 mars 2011 (22.03.2011)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1052842 14 avril 2010 (14.04.2010) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
TOTAL SA [FR/FR]; 2, place Jean Millier, La Défense
6, F-92400 Courbevoie (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **BIGEX, Thibaud** [—/FR]; c/o Total SA CSTJF-CA006, Avenue Larribau, F-64000 Pau (FR). **WOIRIN, Jérôme** [—/FR]; c/o Total SA CSTJF-CA006, Avenue Larribau, F-64000 Pau (FR).

(74) Mandataires : LOUBAT, Patrice et al.; Cabinet Plasseraud, 52, rue de la Victoire, F-75440 Paris Cedex 09 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, 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.

(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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : LINE FOR TRANSPORTING A FLUID CONTAINING A HYDROCARBON, AND METHOD FOR PRODUCING SUCH A LINE

(54) Titre : CONDUITE POUR LE TRANSPORT D'UN FLUIDE COMPRENANT UN HYDROCARBURE, ET PROCÉDE DE FABRICATION D'UNE TELLE CONDUITE

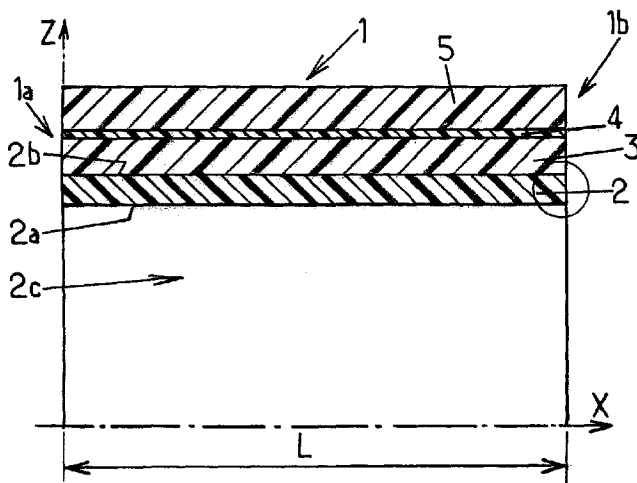


FIG. 1a.

(57) Abstract : The invention relates to a line (1) for transporting a hydrocarbon, said line comprising a hollow tube extending in a longitudinal direction (X) for transporting the fluid in the tube and having an electrically insulating outer surface (2b), a heating layer (3) arranged on the tube (2) and comprising carbon fibres embedded in a polymer material, an electrical insulation layer (4) arranged on the heating layer (3), a reinforcing layer (5) arranged on the electrical insulation layer (4) and comprising carbon fibres embedded in a polymer material, and power supply means (6) for feeding an electrical current to the heating layer (3) for heating the tube (2).

(57) Abrégé : Conduite (1) pour le transport d'un hydrocarbure comprenant un tube creux s'étendant selon une direction longitudinale (X) pour transporter le fluide dans le tube et ayant une surface externe (2b) électriquement isolante, une couche de chauffage (3) sur le tube (2) comprenant des fibres de carbone noyées dans un matériau polymère, une couche d'isolation électrique (4) sur la couche de chauffage (3), une couche de renfort (5) sur la couche d'isolation

électrique (4) comprenant des fibres de carbone noyées dans un matériau polymère, et des moyens d'alimentation électrique (6) destinés à amener un courant électrique à la couche de chauffage (3) pour chauffer le tube (2).

WO 2011/128544 A1

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)*

Publiée :

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

**Conduite pour le transport d'un fluide
comprenant un hydrocarbure, et
procédé de fabrication d'une telle conduite.**

5 La présente invention est relative aux conduites pour le transport d'un fluide comprenant un hydrocarbure.

De telles conduites sont maintenant couramment utilisées dans des environnements très froid, à terre comme en mer, et parfois en mer à de très grande profondeur. Dans
10 ces conditions le fluide peut soit se congeler, soit se coaguler, soit présenter la formation de paraffine. Ces transformations du fluide peuvent générer des bouchons et entraver le transport du fluide dans la conduite. C'est pourquoi ces conduites sont parfois chauffées pour éviter
15 ces inconvénients. Une technique connue est le chauffage électrique de ces conduites par des lignes conductrices en cuivre placées sur les tubes.

Le document CN2800021-Y décrit une telle conduite pour le transport d'un hydrocarbure, ayant un tube en
20 plastique renforcé par des fibres de verre, une première couche en fibre de carbone, et une deuxième couche en plastique renforcée par des fibres de verre. La première couche peut être alimentée électriquement pour réchauffer le tube.

25 Ces conduites utilisant des fibres de carbone comme conducteur électrique permettent de chauffer le fluide plus efficacement et de manière plus homogène que les lignes conductrices en cuivre.

La présente invention a pour but de perfectionner
30 ce dernier type de conduites. On cherche notamment à améliorer leur résistance mécanique.

Une conduite pour le transport d'un fluide comprenant un hydrocarbure selon un mode de réalisation de l'invention comprend :

35 - un tube creux s'étendant selon une direction longitudinale et destiné à transporter ledit fluide dans le

tube, ledit tube ayant au moins une surface externe électriquement isolante,

- une couche de chauffage sur le tube, et comprenant des fibres de carbone noyées dans un matériau polymère,

- une couche d'isolation électrique sur la couche de chauffage comprenant un matériau électriquement isolant,

- une couche de renfort sur la couche d'isolation électrique, et comprenant une charge de renfort noyée dans un matériau polymère, ladite couche de renfort étant adaptée pour rigidifier la conduite, ladite charge de renfort comprenant des fibres de carbone, et

- des moyens d'alimentation électrique destinés à amener un courant électrique à ladite couche de chauffage, ledit courant électrique circulant dans ladite couche de chauffage pour chauffer le tube.

Grâce à ces dispositions, notamment par le fait d'utiliser une charge de renfort comprenant des fibres de carbone, la couche de renfort a une résistance mécanique plus élevée que la deuxième couche de l'art antérieur. Elle permet par exemple de résister à des efforts de pression externe très importants, par exemple supérieurs à 200 bars, de sorte qu'une telle conduite est utilisable en offshore à grande profondeur.

En outre, une conduite de ce type est plus légère, ce qui permet de la transporter et de la mettre en œuvre plus facilement.

Dans divers modes de réalisation de la conduite selon l'invention, on peut éventuellement avoir recours en outre à l'une et/ou à l'autre des dispositions suivantes :

- les fibres de carbone de la couche de chauffage sont enroulées autour du tube avec un premier angle prédéterminé adapté pour obtenir une résistance électrique de ladite couche de chauffage, et

- les fibres de carbone de la couche de renfort sont enroulées autour du tube avec au moins un deuxième

angle prédéterminé adapté pour obtenir une résistance mécanique de ladite couche de renfort ;

la conduite comprend en outre des moyens d'assemblage à chaque extrémité du tube destinés à
5 solidariser la conduite avec un autre dispositif, tel qu'une autre conduite, ledit autre dispositif comprenant des moyens d'assemblage complémentaire, lesdits moyens d'assemblage étant rigidement liés à la couche de renfort et étant adaptés pour maintenir les moyens d'alimentation
10 de la couche de chauffage ;

- le matériau électriquement isolant de la couche d'isolation électrique comprend des fibres de verre ou des fibres de kevlar, noyées dans un matériau polymère ;

- les moyens d'alimentation électrique comprennent
15 un élément de connexion venant en contact avec une surface transversale située à une extrémité de la couche de chauffage dans la direction longitudinale ;

- les moyens d'alimentation électrique comprennent un élément de connexion ayant une forme annulaire dans une
20 section transversale et une forme en biseau dans une section longitudinale, ledit élément de connexion étant monté dans une gorge de la couche de chauffage, ladite gorge ayant une forme complémentaire à celle de l'élément de connexion ;

- les moyens d'alimentation électrique comprennent
25 au moins un dispositif récepteur connecté à la couche de chauffage et adapté pour recevoir un champ magnétique d'induction et pour générer le courant électrique dans la couche de chauffage, ledit champ magnétique d'induction
30 étant émis par un dispositif émetteur situé à distance de la couche de chauffage ;

- la conduite comprend en outre au moins un capteur de température destiné à être connecté à des moyens de contrôle pour réguler le courant électrique dans la couche
35 de chauffage ;

- le capteur de température comprend une fibre

optique adaptée pour mesurer au moins un profil de température le long de la conduite dans la direction longitudinale ;

5 - le tube est en matériau polymère et la fibre optique est noyée dans le tube.

L'invention est également relative à un procédé de fabrication d'une conduite pour le transport d'un fluide comprenant un hydrocarbure, ladite conduite comprenant un tube creux s'étendant selon une direction longitudinale et
10 destiné à transporter ledit fluide dans le tube, ledit tube ayant au moins une surface externe électriquement isolante, ledit procédé comprenant au moins les étapes successives suivantes :

15 - formation d'une couche de chauffage sur le tube, ladite couche de chauffage comprenant des fibres de carbone noyées dans un matériau polymère,

- formation d'une couche d'isolation électrique sur la couche de chauffage, ladite couche d'isolation électrique comprenant un matériau électriquement isolant,

20 - formation d'une couche de renfort sur la couche d'isolation électrique, ladite couche de renfort comprenant une charge de renfort noyée dans un matériau polymère, ladite couche de renfort étant adaptée pour rigidifier la conduite, ladite charge de renfort comprenant des fibres de
25 carbone, et

- mise en place des moyens d'alimentation électrique destinés à amener un courant électrique à ladite couche de chauffage, ledit courant électrique circulant dans ladite couche de chauffage pour chauffer le tube.

30 Dans divers modes de réalisation du procédé de fabrication de la conduite selon l'invention, on peut éventuellement avoir recours en outre à l'une et/ou à l'autre des dispositions suivantes :

35 - la formation de chaque couche est réalisée par :
- application d'au moins une bande de composite appropriée en spirale autour de la couche précédente, et

- chauffage de cette bande pendant un temps prédéterminé pour fondre partiellement le matériau polymère de la bande pour que celle-ci adhère à la couche précédente ;

5 - on usine la conduite formée pour réaliser une gorge ayant un fond en forme de biseau dans la couche de chauffage, ladite gorge étant adaptée pour accueillir au moins un élément de connexion de forme complémentaire.

D'autres caractéristiques et avantages de
10 l'invention apparaîtront au cours de la description suivante d'un de ses modes de réalisation, donné à titre d'exemple non limitatif, en regard des dessins joints.

Sur les dessins :

15 - la figure 1a est une vue en coupe longitudinale d'une conduite selon l'invention,

- la figure 1b est une vue transversale de côté de la conduite de la figure 1a,

- la figure 2 est une vue agrandie d'une variante de la couche de chauffage de la conduite de la figure 1,

20 - la figure 3 est une vue en coupe longitudinale d'une extrémité de la conduite de la figure 1 et montrant les moyens d'alimentation et d'assemblage, et

- la figure 4 est une vue agrandie d'une variante des moyens d'alimentation de la conduite de la figure 1.

25 Sur les différentes figures, les mêmes références désignent des éléments identiques ou similaires.

La direction longitudinale mentionnée dans cette description doit s'entendre comme la direction allant dans la direction X désignée sur les figures. Une direction
30 transversale mentionnée dans cette description doit s'entendre comme la direction Y ou Z désignée sur les figures. Ces directions ne sont mentionnées que pour aider la lecture et la compréhension de l'invention.

Le terme « conduite » de la présente invention doit
35 être compris comme étant un dispositif comprenant un tube pour transporter un fluide au moins entre une entrée et une

sortie, le dispositif pouvant comporter d'autres éléments, tel qu'une vanne, ou des dérivations multiples.

Les figures 1a et 1b présentent une conduite 1 selon l'invention en coupe longitudinale selon un plan XZ et en coupe transversale selon un plan YZ. Dans ces figures 5 seul une moitié supérieure au dessus de l'axe X est présentée, l'autre moitié inférieure étant sensiblement identique par symétrie par rapport à l'axe X.

La conduite 1 comprend un tube 2 creux, s'étendant 10 dans la direction longitudinale d'axe X entre une première et deuxième extrémité (1a, 1b) de la conduite. Ce tube 2 comprend une surface interne 2a à proximité de l'axe X, et une surface externe 2b plus éloignée de l'axe X. A l'intérieur de la surface interne 2a s'étend une cavité 2c 15 entre une entrée et une sortie de la cavité situées à chacune des extrémités. La cavité 2c est adapté pour transporter le fluide entre lesdites entrée et sortie.

La figure 1b montre que la conduite 1 a une forme sensiblement cylindrique, mais d'autres formes pourraient 20 être réalisées.

Le tube 2 peut être réalisé avec un matériau électriquement isolant, par exemple un polymère. Ce matériau peut avantageusement être un polyamide (PA), ou un polyfluorure de vinylidène (PVDF).

Ce tube 2 peut également être réalisé avec un 25 matériau électriquement conducteur, tel que de l'acier. Dans ce cas, il comprendra au moins à sa surface externe 2b une couche d'isolation électrique 2d visible en figure 2, par exemple constituée d'un des polymères cités ci-dessus, 30 ou d'un composite comprenant des fibres de verre ou de kevlar noyées dans un matériau polymère du même type que cité ci-dessus. Cette couche d'isolation électrique 2d a une épaisseur dans une direction transversale, par exemple comprise entre 0,5 mm et 10 mm, notamment en fonction de la 35 tension d'alimentation V de la couche de chauffage 3.

Sur ce tube 2 de la conduite 1, on applique au

moins les couches suivantes :

- une couche de chauffage 3,
- une couche d'isolation électrique 4, et
- une couche de renfort 5.

5 La couche de chauffage 3 est un composite comprenant au moins des fibres de carbone noyées dans un polymère. Ce polymère peut avantageusement être un polyamide (PA), ou un polyfluorure de vinylidène (PVDF).

10 Les fibres de carbone sont aptes à conduire un courant électrique pour chauffer le tube par effet Joule. La résistance électrique R d'une telle couche de chauffage 3 entre les première et deuxième extrémités (1a, 1b) de la conduite peut être calculée de manière approchée par la formule suivante :

15
$$R = \rho_{\text{fibre}} \cdot \frac{L}{\pi \cdot D_{\text{moy}} \cdot \cos^2 \alpha \cdot E_p}$$

dans laquelle :

- ρ_{fibre} est une résistivité des fibres de carbone, ayant par exemple pour valeur $\rho_{\text{fibre}} = 1,9 \cdot 10^{-5} \Omega \cdot m$ à une température de 20°C, ce qui est sensiblement 1100 fois plus résistif que le cuivre à 20°C,

- L est une longueur de la couche de chauffage 3 entre les première et deuxième extrémités (1a, 1b) selon la direction longitudinale X,

25 - D_{moy} est un diamètre moyen de la couche de chauffage 3,

- E_p est une épaisseur de la couche de chauffage dans une direction transversale, et

- α est un angle d'inclinaison que forment les fibres de carbone par rapport à la direction de l'axe X.

30 L'épaisseur E_p et l'angle d'inclinaison α permettent, lors du dimensionnement, de définir la résistance électrique de cette couche de chauffage 3, et par conséquent la puissance électrique P consommée servant à chauffer le tube 2. Cette puissance électrique P est égale à $P = V^2 / R$, où V est une tension électrique

35

d'alimentation de ladite couche de chauffage 3 entre les première et deuxième extrémités.

L'angle d'inclinaison α peut prendre toute valeur entre 0 degré et 70 degrés. Cependant, pour des raisons de facilités de fabrication et des raisons de risques de délaminage du composite avec une valeur d'angle d'inclinaison faible lors de la flexion de la conduite 1 (par exemple lors de la pose sur le fond marin), cet angle d'inclinaison α sera avantageusement supérieur à 10 degrés.

Pour une plage d'angle d'inclinaison comprise entre 10 degrés et 70 degrés, le coefficient $\cos^2\alpha$ varie sensiblement entre 0,12 et 0,97, ce qui signifie que la résistance électrique R de la couche de chauffage 3 peut varier sur une très grande plage en définissant uniquement cet angle d'inclinaison α des fibres de carbone.

La couche de chauffage 3 peut être fabriquée par des moyens connus du type présentés dans la publication FR-2 873 952, en utilisant des bandes préformées de composite, chaque bande s'étendant selon une direction principale et comprenant des fibres de carbone noyées dans un polymère, lesdites fibres de carbone étant orientées sensiblement selon ladite direction principale de la bande préformée.

La couche de chauffage 3 peut être réalisée par un empilement de sous-couches, chaque sous-couche comprenant des fibres de carbone inclinées avec un angle d'inclinaison α_i prédéterminé par rapport à la direction longitudinale X. Chaque sous-couche comprend alors des fibres de carbone avec un angle d'inclinaison différent de la sous-couche voisine. Par exemple, chaque sous-couche est formée à l'aide de bandes préformées, tel que explicité ci-dessus. En variante, deux sous-couches successives peuvent avoir des angles d'inclinaison opposés pour former un quadrillage sous forme de losanges vu d'une surface externe de la couche de chauffage 3.

Chaque sous-couche d'indice i , a un angle

d'inclinaison α_i , une épaisseur E_{pi} , un diamètre moyen D_{moyi} , et possède une résistance électrique élémentaire R_i . La résistance électrique élémentaire R_i de chaque sous-couche d'indice i peut être calculé par la formule précédente de calcul d'une couche ayant des fibres de carbone selon un
5 seul angle d'inclinaison. La résistance électrique R de la couche de chauffage 3 peut alors être calculée par la mise en parallèle des résistances élémentaires R_i de chaque sous-couche, c'est-à-dire par $1/R = \sum_i 1/R_i$.

10 Grâce à l'angle d'inclinaison des fibres de carbone dans la couche de chauffage 3, on peut obtenir une résistance électrique R désirée pour le chauffage.

Grâce à cette couche de chauffage 3 comprenant des fibres de carbone bien réparties dans le matériau polymère
15 de cette couche, le chauffage est plus homogène autour du tube 2. En outre, si une ou plusieurs fibres de carbone étaient rompues à un endroit de la conduite, le courant électrique continue à passer. De plus, si on utilise une pluralité de sous-couches avec des angles différents, les
20 fibres de carbone se croisent et sont au moins partiellement en contact mutuel, de sorte que le courant électrique et le chauffage reste homogène dans la couche de chauffage 3. Seule la zone où les fibres sont rompues est alors affectée. Une telle conduite 1 est donc très
25 tolérante aux défauts de fabrication et aux accidents de manipulation pouvant la détériorer localement.

La couche d'isolation électrique 4 est électriquement isolante. Elle est par exemple constituée d'un composite comprenant des fibres de verre noyées dans
30 un polymère. Le polymère est avantageusement adapté pour bien adhérer à la couche précédente, la couche de chauffage 3. Il est éventuellement identique au polymère utilisé dans cette couche de chauffage 3.

La couche d'isolation électrique 4 doit avoir une
35 épaisseur suffisante pour éviter toute perte de courant électrique de la couche de chauffage 3, même lorsque la

conduite 1 est déformée ou coudée. Cette couche d'isolation électrique 4 a une épaisseur dans une direction transversale, par exemple comprise entre 0,5 mm et 10 mm, notamment en fonction de la tension d'alimentation V de la
5 couche de chauffage 3.

La couche de renfort 5 est un composite comprenant au moins une charge de renfort noyée dans un polymère, la charge de renfort comprenant au moins des fibres de carbone et le polymère. Le polymère est avantageusement adapté pour
10 adhérer à la couche précédente, la couche d'isolation électrique 4. Il est avantageux d'utiliser le même polymère pour les trois couches : couche de chauffage 3, couche d'isolation électrique 4, et couche de renfort 5. Le tube 2 est en outre avantageusement réalisé avec ce même polymère.
15 La conduite 1 est un composite multicouche comprenant un polymère tel qu'un polyamide (PA) ou un polyfluorure de vinylidène (PVDF). On peut alors réaliser de très grande longueur d'une telle conduite de manière complètement automatisée. Grâce à cette disposition, le coût d'une telle
20 conduite est faible, même si elle comprend un matériau couteux tel que de la fibre de carbone.

L'utilisation d'une charge de renfort en fibre de carbone présente cependant au moins deux inconvénients incitant un homme du métier à ne pas l'utiliser : Elle est
25 plus onéreuse qu'une fibre de verre ; et elle est conductrice de l'électricité, ce qui impose l'utilisation d'au moins une couche d'isolation électrique 4 entre la couche de chauffage 3 et la couche de renfort 5, et complique ainsi la réalisation de la conduite.

Cependant, les fibres de carbone sont plus résistantes que les fibres de verre, de sorte que la quantité de fibres de carbone nécessaire pour obtenir une même résistance mécanique est inférieure. Par conséquent, le surcoût pour le produit lié au matériau est inférieur à
35 celui du matériau lui-même, et la conduite 1 réalisée a un encombrement ou diamètre externe inférieur.

La couche de renfort 5 peut être fabriquée avec la même technique que pour la couche de chauffage 3. Elle pourra comprendre une pluralité de sous-couches, chaque sous-couche comprenant des fibres de carbone inclinées selon un angle d'inclinaison prédéterminé. En outre, chaque sous-couche peut être formée à l'aide de bandes préformées. Additionnellement, l'angle d'inclinaison d'une sous-couche est de valeur opposée à l'angle d'inclinaison d'une sous-couche voisine ou adjacente. L'angle d'inclinaison de ces sous-couches est alors avantageusement compris entre 20 degré et 70 degrés.

Grâce à la couche de renfort 5, la conduite 1 est très rigide, notamment elle peut supporter une pression externe très élevée, par exemple supérieure à 100 bars et de préférence supérieure à 200 bars. Pour obtenir, une meilleure résistance à la pression externe, l'angle d'inclinaison sera avantageusement compris entre 60 et 70 degrés, et préférentiellement proche de 65 degrés. La couche de renfort 5 est alors plus rigide que le tube 2, et confère à la conduite 1 sa grande rigidité.

Grâce à la couche de renfort 5, la conduite 1 résiste également à des efforts de compression très élevés. Pour obtenir, une meilleure résistance à la compression ou de traction dans la direction longitudinale X, l'angle d'inclinaison sera avantageusement compris entre 20 et 30 degrés, et préférentiellement proche de 25 degrés.

La conduite 1 résiste également à des efforts de flexion très élevés. Elle peut être enroulée avec un faible rayon de courbure par exemple inférieur à 20 m, et préférentiellement inférieur à 10 m. Un angle d'inclinaison compris entre 50 et 70 degrés sera préféré pour obtenir un rayon de courbure faible. Elle peut alors être utilisée par grand fond marin sans risque pas d'être détériorée lors de sa pose, que cela soit par une technique dite de pose en « S » ou une technique dite de pose en « J », pour lesquelles la conduite forme un ou plusieurs coudes avant

de reposer sur le fond marin.

Grâce à l'angle d'inclinaison des fibres de carbone dans la couche de renfort 5, on peut obtenir une résistance mécanique désirée pour la conduite, en pression, en compression ou traction longitudinale, ou en flexion.

Grâce à cette couche de renfort 5 très rigide, le tube 2 peut avoir une épaisseur faible et être réalisé avec un matériau moins rigide que la couche de renfort 5, c'est-à-dire seulement apte à supporter la fabrication des couches successives sur ledit tube et non les contraintes de la pression externe à la conduite 1. La couche de chauffage 3 est alors à une distance faible de la surface interne 2a du tube 2 et le chauffage du fluide transporté est plus efficace. De plus, puissance nécessaire pour chauffer le fluide est plus faible.

Par exemple, un tube de 6 pouces de diamètre (approximativement 15 cm de diamètre), comprenant 54 couches de fibres de carbone noyées dans un polymère Polyamide PA11 avec des premières sous-couches ayant des angles d'inclinaison à +/- 25 degrés, puis des deuxième sous-couches ayant des angles de +/- 65 degrés, ces sous-couches représentant une épaisseur de 15 mm, a les caractéristiques mécaniques suivantes : résistance à une pression externe de 245 bar, résistance à une pression interne du fluide de 1500 bar, et résistance à la traction de 550 tonnes.

La figure 3 montre un mode de réalisation d'une extrémité 1b de la conduite 1 selon l'invention comprenant :

- des moyens d'alimentation électrique 6 de la couche de chauffage 3 destinés à amener le courant électrique à la couche de chauffage 3, et
- des moyens d'assemblage mécanique 7 de la conduite destinés à la solidariser avec un autre dispositif ou une autre conduite comprenant des moyens d'assemblage identiques ou complémentaires.

Chaque extrémité 1a, 1b de la conduite 1 comprend un moyen d'alimentation électrique, de telle sorte que une tension V appliquée entre ces deux moyens d'alimentation électrique fait circuler un courant électrique I dans la
5 couche de chauffage 3. Par la loi d'Ohm, on a : $I = V/R$.

Les moyens d'alimentation électriques 6 représentés comprennent un câble 6a en relation avec l'extérieur de la conduite 1, et un élément de connexion 6b venant en contact avec les fibres de carbone de la couche de chauffage 3 et
10 connecté audit câble 6a.

Selon une première variante, non représentée, l'élément de connexion 6b est en contact avec les fibres de carbone de la couche de chauffage 3 selon une surface de contact transversale de ladite couche de chauffage 3,
15 ladite surface de contact étant sensiblement perpendiculaire à la direction longitudinale X et située à une extrémité longitudinale de ladite couche de chauffage 3. Cette surface de contact est sensiblement annulaire.

Selon une deuxième variante, représentée en
20 figure 3, l'élément de connexion 6b a une forme en biseau dans une section longitudinale, et pénètre dans une gorge 3a de la couche de chauffage 3 pour venir en contact avec les fibres de carbone de la couche de chauffage 3 selon une surface de contact dans ladite gorge 3a.
25 L'élément de connexion 6b et la gorge 3a ont une forme annulaire autour de l'axe longitudinale X.

Grâce à cette disposition, la surface de contact entre l'élément de connexion 6b et la couche de chauffage 3 est augmentée.

30 Selon une troisième variante, pour laquelle la figure 4 montre une vue agrandie, la gorge 3a traverse la couche de renfort 5, la couche d'isolation électrique 4 et la couche de chauffage 3. L'élément de connexion 6b est isolé électriquement de la couche de renfort 5 par un
35 revêtement pour éviter toute perte de courant électrique dans cette couche de renfort 5. Une extrémité de l'élément

de connexion 6b a une forme en biseau comme dans la précédente variante pour venir en contact avec les fibres de carbone de la couche de chauffage 3.

Selon une quatrième variante, non représentée, les
5 moyens d'alimentation électrique 6 comprennent au moins un dispositif récepteur connecté à la couche de chauffage 3 et adapté pour recevoir un champ magnétique d'induction et pour générer le courant électrique. Le champ magnétique d'induction est émis par un dispositif émetteur situé à
10 distance de cette couche de chauffage.

Grâce à cette disposition, l'énergie est transmise sans contact depuis l'extérieur de la conduite 1 vers la couche de chauffage 3. Le câble 6a des précédentes variantes qui traverse transversalement la conduite 1 entre
15 l'extérieur et la couche de chauffage est supprimé. L'étanchéité des moyens d'alimentation 6 et des moyens d'assemblage 7 est simplifiée.

Des moyens d'assemblage 7 sont représentés en figure 3. Ces moyens d'assemblage 7 comprennent par
20 exemple :

- un premier organe 8 solidaire du tube 2, comprenant par exemple une portion longitudinale 8a fixée au tube 2 s'étendant selon la direction longitudinale X, puis une portion radiale 8b s'étendant vers l'extérieur, et
25
- un deuxième organe 9 comprenant une portion longitudinale 9a montée étanche sur une surface externe de la conduite 1 et une portion radiale fixée sur la portion radiale 8b du premier organe 8 par des moyens de serrage 10, tels que des boulons.

30 Ces moyens d'assemblage 7 peuvent en outre être adaptés pour maintenir les moyens d'alimentation 6 de la couche de chauffage 3.

La conduite 1 peut comprendre en outre (non représenté) au dessus des précédentes couches décrites :

- 35 - une couche d'isolation thermique autour de la couche de renfort 5 et destinée à isoler thermiquement la

conduite 1 par rapport à l'extérieur,

- un tube externe rigide entourant cette couche d'isolation thermique, et

- des moyens d'espacement placés entre le tube 2 et
5 le tube externe.

Les moyens d'espacement sont adaptés pour maintenir fixement le tube externe à distance du tube 2 et pour protéger la couche d'isolation thermique d'une pression externe élevée à l'extérieur de la conduite 1.

10 Le tube externe peut être en acier, ou être un composite comprenant des fibres de carbone et un polymère, tel qu'un polyamide (PA) ou un polyfluorure de vinylidène (PVDF). Le tube externe a alors tous les avantages et toutes les propriétés décrites pour la couche de renfort 5.

15 Enfin, la conduite 1 peut comprendre un capteur de température destiné à être connecté à des moyens de contrôle pour réguler le courant électrique dans la couche de chauffage 3.

Le capteur de température peut comprendre une fibre
20 optique adaptée pour mesurer un profil de température le long de la conduite 1 dans la direction longitudinale X. Le moyen de contrôle reçoit alors une pluralité de mesures de températures, chaque mesure correspondant à une position différente le long de la conduite 1 dans la direction
25 longitudinale X.

La fibre optique peut être noyée dans un des composites précédents, c'est-à-dire dans la couche de chauffage 3, dans la couche d'isolation électrique 4 ou dans la couche de renfort 5.

30 Avantageusement, le tube 2 sera en polymère et le capteur de température ou la fibre optique sera noyée dans ce tube 2, de sorte que ce capteur de température mesure au moins une température entre la couche de chauffage 3 et la surface interne 2a du tube 2. Une telle mesure plus proche
35 du fluide donne alors une information plus représentative pour la régulation du moyen de contrôle.

La conduite 1 peut être fabriquée par le procédé suivant.

Ladite conduite comprend un tube 2 creux s'étendant
5 selon une direction longitudinale X et destiné à transporter le fluide dans le tube, ledit tube 2 ayant au moins une surface externe 2a électriquement isolante.

Le procédé comprend au moins les étapes successives suivantes :

10 - formation d'une couche de chauffage 3 sur le tube 2, ladite couche de chauffage 3 comprenant des fibres de carbone noyées dans un matériau polymère,

- formation d'une couche d'isolation électrique 4 sur la couche de chauffage 3, ladite couche d'isolation
15 électrique 4 comprenant un matériau électriquement isolant,

- formation d'une couche de renfort 5 sur la couche d'isolation électrique 4, ladite couche de renfort 5 comprenant une charge de renfort noyée dans un matériau polymère, ladite couche de renfort 5 étant adaptée pour
20 rigidifier la conduite, ladite charge de renfort comprenant des fibres de carbone, et

- mise en place des moyens d'alimentation électrique 6 destinés à amener un courant électrique à ladite couche de chauffage 3, ledit courant électrique
25 circulant dans ladite couche de chauffage 3 pour chauffer le tube 2.

La formation de chaque couche est réalisée par :

- application d'au moins une bande de composite approprié en spirale autour de la couche précédente, et

30 - chauffage de cette bande pendant un temps prédéterminé pour fondre partiellement le matériau polymère de la bande pour que celle-ci adhère à la couche précédente.

Eventuellement, on usine la conduite formée pour
35 réaliser une gorge 3a ayant un fond en forme de biseau dans la couche de chauffage 3, ladite gorge 3a étant adaptée

pour accueillir au moins un élément de connexion 6b de forme complémentaire.

REVENDICATIONS

1. Conduite pour le transport d'un fluide comprenant un hydrocarbure, ladite conduite comprenant :

5 - un tube (2) creux s'étendant selon une direction longitudinale (X) et destiné à transporter ledit fluide dans le tube, ledit tube (2) ayant au moins une surface externe (2b) électriquement isolante,

10 - une couche de chauffage (3) sur le tube, et comprenant des fibres de carbone noyées dans un matériau polymère,

- une couche d'isolation électrique (4) sur la couche de chauffage (3) comprenant un matériau électriquement isolant,

15 - une couche de renfort (5) sur la couche d'isolation électrique (4), et comprenant une charge de renfort noyée dans un matériau polymère, ladite couche de renfort (5) étant adaptée pour rigidifier la conduite, ladite charge de renfort comprenant des fibres de carbone,
20 et

- des moyens d'alimentation électrique (6) destinés à amener un courant électrique à ladite couche de chauffage (3), ledit courant électrique circulant dans ladite couche de chauffage pour chauffer le tube.

25

2. Conduite selon la revendication 1, dans laquelle :

30 - les fibres de carbone de la couche de chauffage (3) sont enroulées autour du tube avec un premier angle prédéterminé adapté pour obtenir une résistance électrique de ladite couche de chauffage, et

- les fibres de carbone de la couche de renfort (5) sont enroulées autour du tube avec au moins un deuxième angle prédéterminé adapté pour obtenir une résistance mécanique de ladite couche de renfort.

35

3. Conduite selon la revendication 1 ou la

- revendication 2, comprenant en outre des moyens d'assemblage (7) à chaque extrémité du tube destinés à solidariser la conduite avec un autre dispositif, tel qu'une autre conduite, ledit autre dispositif comprenant des moyens d'assemblage complémentaire, lesdits moyens d'assemblage (7) étant rigidement liés à la couche de renfort (5) et étant adaptés pour maintenir les moyens d'alimentation (6) de la couche de chauffage (3).
- 10 **4.** Conduite selon la revendication 1, dans laquelle le matériau électriquement isolant de la couche d'isolation électrique (4) comprend des fibres de verre ou des fibres de kevlar, noyées dans un matériau polymère.
- 15 **5.** Conduite selon la revendication 1, dans laquelle les moyens d'alimentation électrique (6) comprennent un élément de connexion (6b) venant en contact avec une surface transversale située à une extrémité de la couche de chauffage (3) dans la direction longitudinale (X).
- 20 **6.** Conduite selon la revendication 1, dans laquelle les moyens d'alimentation électrique (6) comprennent un élément de connexion (6b) ayant une forme annulaire dans une section transversale et une forme en biseau dans une section longitudinale, ledit élément de connexion (6b) étant monté dans une gorge (3a) de la couche de chauffage (3), ladite gorge (3a) ayant une forme complémentaire à celle de l'élément de connexion (6b).
- 25 **7.** Conduite selon la revendication 1, dans laquelle les moyens d'alimentation électrique (6) comprennent au moins un dispositif récepteur connecté à la couche de chauffage (3) et adapté pour recevoir un champ magnétique d'induction et pour générer le courant électrique dans la couche de chauffage (3), ledit champ magnétique d'induction étant émis par un dispositif émetteur situé à distance de
- 30
- 35

la couche de chauffage (3).

8. Conduite selon la revendication 1, comprenant en outre au moins un capteur de température destiné à être
5 connecté à des moyens de contrôle pour réguler le courant électrique dans la couche de chauffage (3).

9. Conduite selon la revendication 8, dans laquelle le capteur de température comprend une fibre optique adaptée
10 pour mesurer au moins un profil de température le long de la conduite dans la direction longitudinale (X).

10. Conduite selon la revendication 9, dans laquelle le tube (2) est en matériau polymère et la fibre optique est
15 noyée dans le tube (2).

11. Procédé de fabrication d'une conduite pour le transport d'un fluide comprenant un hydrocarbure, ladite conduite comprenant un tube (2) creux s'étendant selon une
20 direction longitudinale (X) et destiné à transporter ledit fluide dans le tube, ledit tube (2) ayant au moins une surface externe (2b) électriquement isolante, ledit procédé comprenant au moins les étapes successives suivantes :

- formation d'une couche de chauffage (3) sur le
25 tube, ladite couche de chauffage (3) comprenant des fibres de carbone noyées dans un matériau polymère,

- formation d'une couche d'isolation électrique (4) sur la couche de chauffage (3), ladite couche d'isolation électrique (4) comprenant un matériau électriquement
30 isolant,

- formation d'une couche de renfort (5) sur la couche d'isolation électrique (4), ladite couche de renfort (5) comprenant une charge de renfort noyée dans un matériau polymère, ladite couche de renfort (5) étant
35 adaptée pour rigidifier la conduite, ladite charge de renfort comprenant des fibres de carbone, et

- mise en place des moyens d'alimentation électrique (6) destinés à amener un courant électrique à ladite couche de chauffage (3), ledit courant électrique circulant dans ladite couche de chauffage pour chauffer le tube (2).

12. Procédé selon la revendication 11, dans lequel la formation de chaque couche (3, 4, 5) est réalisée par :

- application d'au moins une bande de composite appropriée en spirale autour de la couche précédente, et

- chauffage de cette bande pendant un temps prédéterminé pour fondre partiellement le matériau polymère de la bande pour que celle-ci adhère à la couche précédente.

15

13. Procédé selon la revendication 11, dans lequel on usine la conduite formée pour réaliser une gorge (3a) ayant un fond en forme de biseau dans la couche de chauffage (3), ladite gorge (3a) étant adaptée pour accueillir au moins un élément de connexion (6b) de forme complémentaire.

20

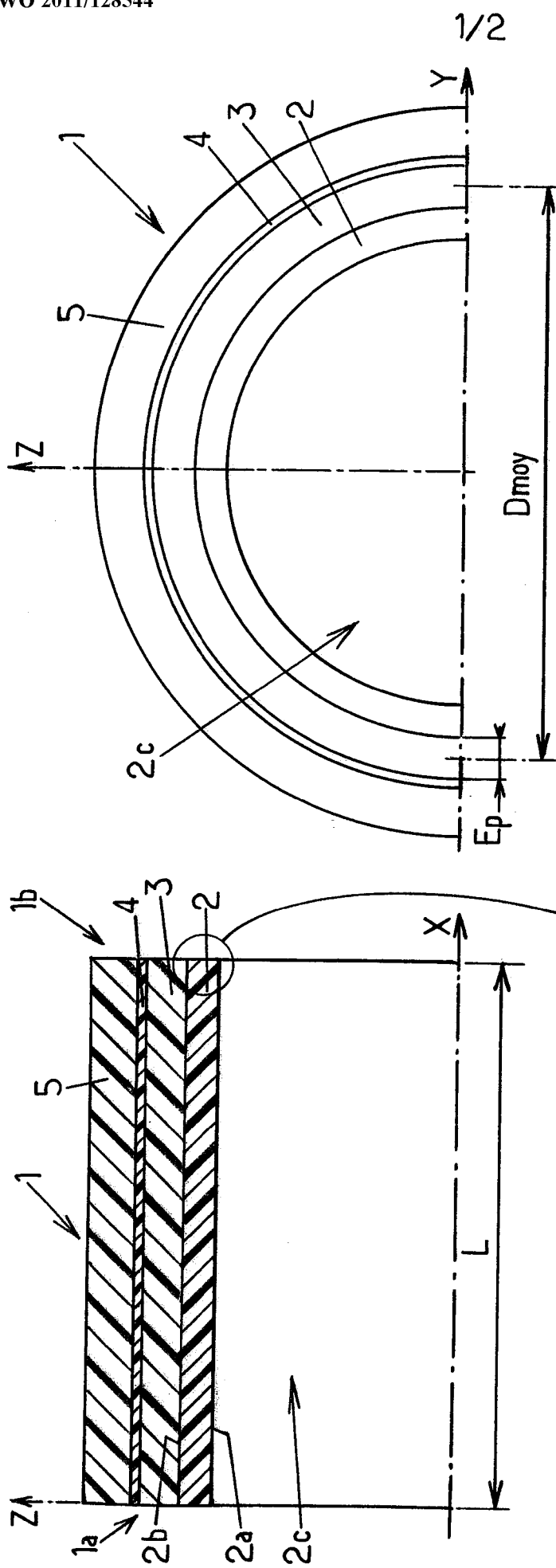


FIG. 1a.

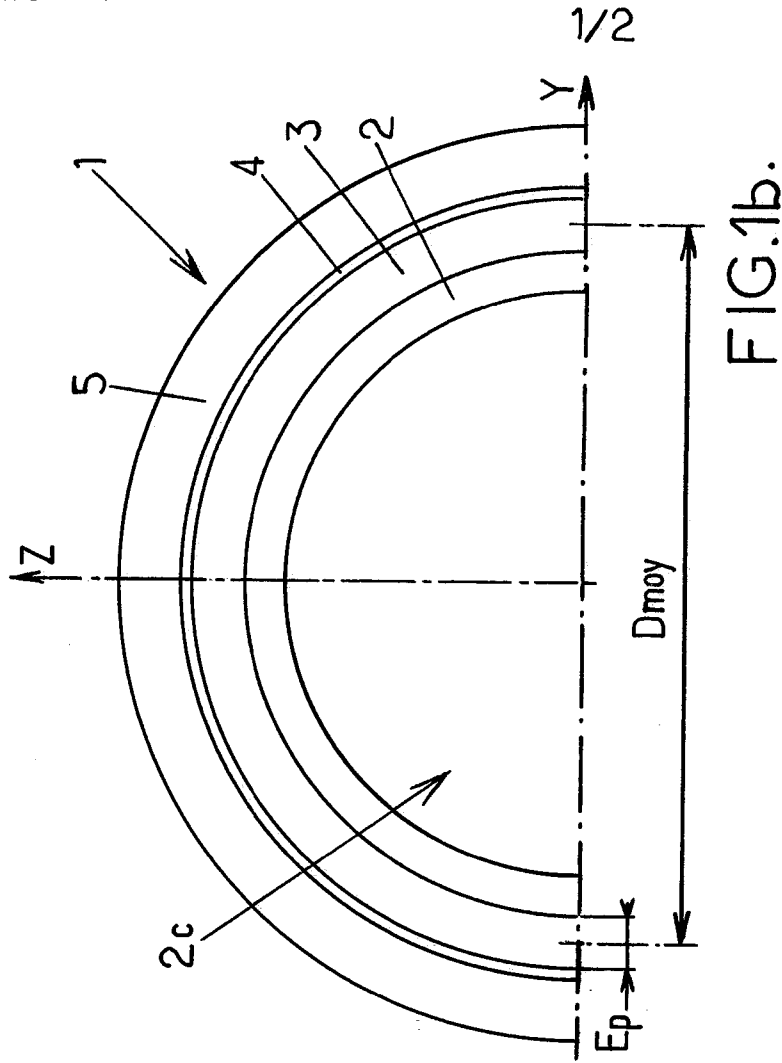


FIG. 1b.

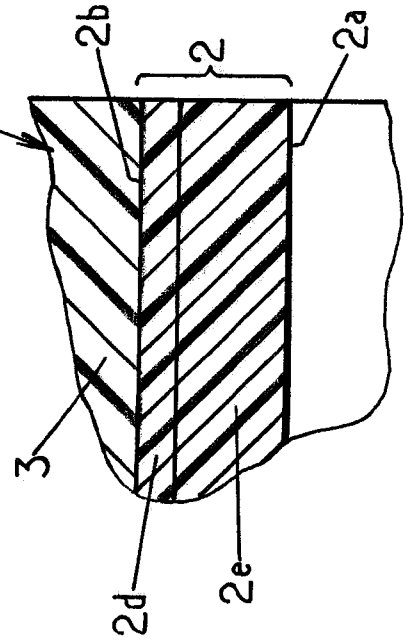


FIG. 2.

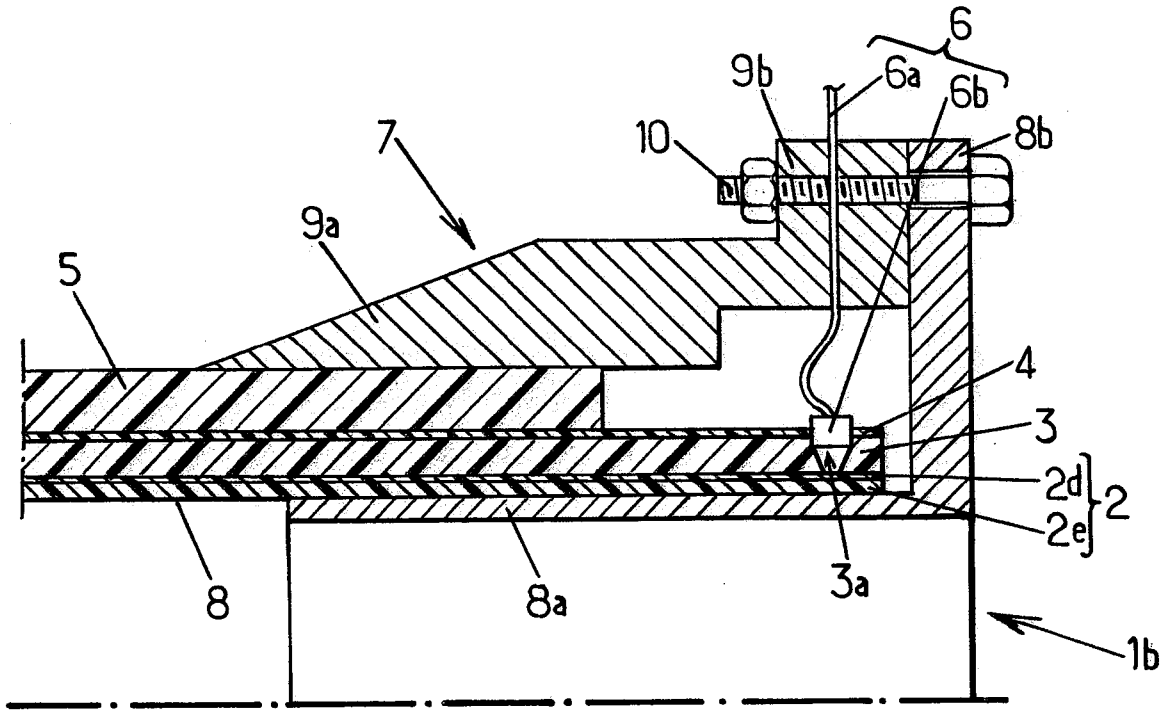


FIG. 3.

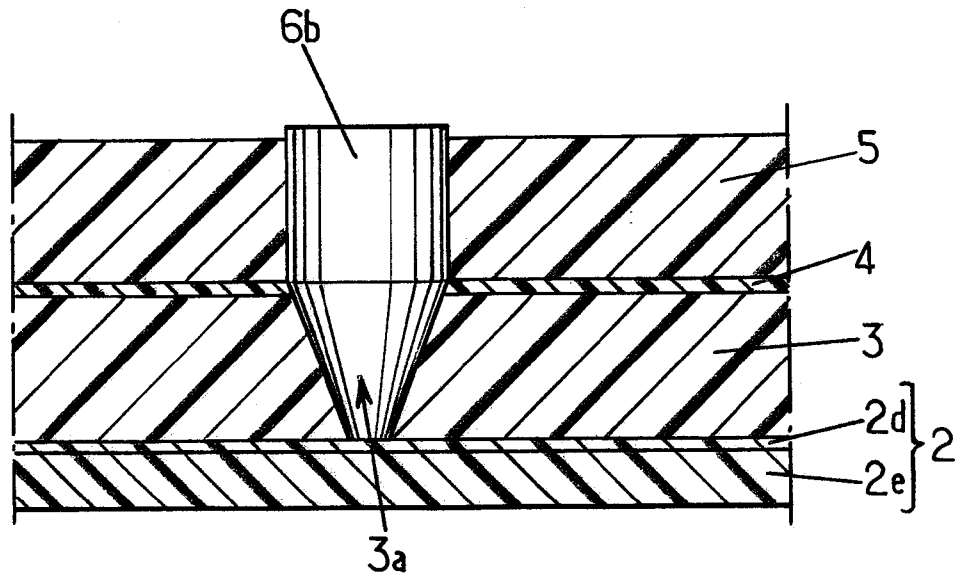


FIG. 4.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2011/050598

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. B29C53/58 F16L1/20 F16L9/12 F16L9/128 F16L53/00
 F17D1/18 H05B3/14
 ADD.
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 B29C B32B F16L F17D H05B F24H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
 EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 2 800 021 Y (CAI JINGANG [CN]) 26 July 2006 (2006-07-26) cited in the application the whole document -----	1-13
A	CN 2 475 967 Y (JIANXUE DU [CN]) 6 February 2002 (2002-02-06) the whole document -----	1-13
A	CN 201 354 918 Y (FUXIN ZHU [CN]) 2 December 2009 (2009-12-02) the whole document -----	1-13
A	EP 1 912 006 A2 (IVG COLBACHNI S P A [IT]) COLBACHINI SPA [IT] 16 April 2008 (2008-04-16) the whole document -----	1-13
	-/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

<p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>
--	--

Date of the actual completion of the international search 1 June 2011	Date of mailing of the international search report 15/06/2011
--	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Fromentel, Henri
--	--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2011/050598

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 201 191 920 Y (ZHONG LIN [CN]) 4 February 2009 (2009-02-04) the whole document	1-13
A	----- WO 01/42338 A2 (GRAFTECH INC [US]) 14 June 2001 (2001-06-14) the whole document	11-13
A	----- FR 2 913 364 A1 (FIBRES DE CARBONE SOC D [FR]) 12 September 2008 (2008-09-12) cited in the application the whole document -----	1-13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2011/050598

Patent document cited in search report	Publication date	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
CN 2800021	Y	26-07-2006	NONE	

CN 2475967	Y	06-02-2002	NONE	

CN 201354918	Y	02-12-2009	NONE	

EP 1912006	A2	16-04-2008	NONE	

CN 201191920	Y	04-02-2009	NONE	

WO 0142338	A2	14-06-2001	AU 1947601 A	18-06-2001
			CA 2393697 A1	14-06-2001

FR 2913364	A1	12-09-2008	BR PI0800440 A	23-09-2008
			CA 2620221 A1	06-08-2008
			GB 2446506 A	13-08-2008

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2011/050598

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. B29C53/58 F16L1/20 F16L9/12 F16L9/128 F16L53/00 F17D1/18 H05B3/14 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) B29C B32B F16L F17D H05B F24H		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	CN 2 800 021 Y (CAI JINGANG [CN]) 26 juillet 2006 (2006-07-26) cité dans la demande le document en entier -----	1-13
A	CN 2 475 967 Y (JIANXUE DU [CN]) 6 février 2002 (2002-02-06) le document en entier -----	1-13
A	CN 201 354 918 Y (FUXIN ZHU [CN]) 2 décembre 2009 (2009-12-02) le document en entier -----	1-13
A	EP 1 912 006 A2 (IVG COLBACHNI S P A [IT]) COLBACHINI SPA [IT]) 16 avril 2008 (2008-04-16) le document en entier -----	1-13
	-/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée		"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 1 juin 2011		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 15/06/2011
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Fromentel, Henri

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2011/050598

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	CN 201 191 920 Y (ZHONG LIN [CN]) 4 février 2009 (2009-02-04) le document en entier -----	1-13
A	WO 01/42338 A2 (GRAFTECH INC [US]) 14 juin 2001 (2001-06-14) le document en entier -----	11-13
A	FR 2 913 364 A1 (FIBRES DE CARBONE SOC D [FR]) 12 septembre 2008 (2008-09-12) cité dans la demande le document en entier -----	1-13

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2011/050598

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
CN 2800021	Y	26-07-2006	AUCUN	

CN 2475967	Y	06-02-2002	AUCUN	

CN 201354918	Y	02-12-2009	AUCUN	

EP 1912006	A2	16-04-2008	AUCUN	

CN 201191920	Y	04-02-2009	AUCUN	

WO 0142338	A2	14-06-2001	AU 1947601 A	18-06-2001
			CA 2393697 A1	14-06-2001

FR 2913364	A1	12-09-2008	BR PI0800440 A	23-09-2008
			CA 2620221 A1	06-08-2008
			GB 2446506 A	13-08-2008
