



(43) Date de la publication internationale
26 février 2015 (26.02.2015)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2015/025095 A1

- (51) Classification internationale des brevets :
F16L 11/08 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2014/052043
- (22) Date de dépôt international :
6 août 2014 (06.08.2014)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
1358126 22 août 2013 (22.08.2013) FR
- (71) Déposant : **TECHNIP FRANCE** [FR/FR]; 6-8, Allée de l'Arche, Faubourg de l'Arche- ZAC Danton, F-92400 Courbevoie (FR).
- (72) Inventeurs : **EPSZTEIN, Thomas**; 25, Avenue Pasteur, F-76000 Rouen (FR). **DEMANZE, Frédéric**; 13, Rue du 8 mai, F-76490 Caudebec-en-Caux (FR).
- (74) Mandataires : **RIPAULT, Damien** et al.; c/o S.A FEDIT-LORIOT, 38, avenue Hoche, F-75008 Paris (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,

AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

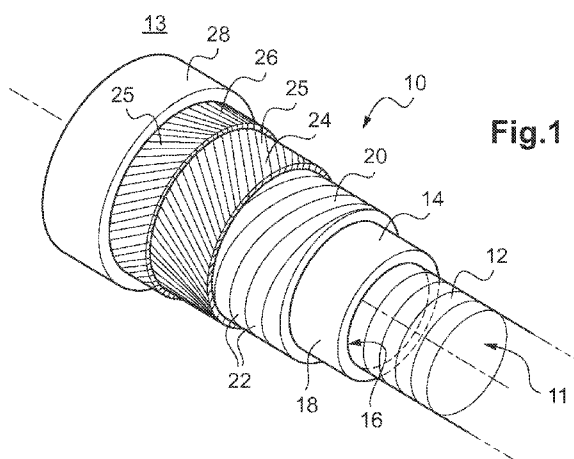
(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,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

Publiée :

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

(54) Title : METHOD FOR MANUFACTURING A FLEXIBLE TUBULAR PIPE

(54) Titre : PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UNE CONDUITE TUBULAIRE FLEXIBLE



(57) Abstract : The invention relates to a method for manufacturing a tubular pipe for transporting hydrocarbons, wherein said method comprises a) forming a polymer material pressure sheath (14), having an outer surface (18) and an inner surface (16) defining an inner flow space (11); b) winding a metal wire at a short pitch around said tubular pressure sheath (14) such as to form turns (22) defining consecutive intervals (30) therebetween; c) winding a plurality of armoring pull wires (25) at a long pitch around said turns (22); and d) bringing said inner flow space (11) to a pressure P greater than a given pressure P_a, while simultaneously bringing said pressure sheath (14) to a temperature T greater than a given temperature T_a such as to obtain a low amplitude for the radial deformations at said intervals (30).

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé de fabrication d'une

[Suite sur la page suivante]



conduite tubulaire destinée au transport des hydrocarbures. Selon le procédé: a) on forme une gaine de pression (14) en matériau polymère présentant une surface externe (18) et une surface interne (16) définissant un espace d'écoulement interne (11); b) on enroule à pas court un fil métallique autour de ladite gaine de pression tubulaire (14) de manière à former des spires (22) définissant entre elles des intervalles successifs (30); c) on enroule à pas long une pluralité de fils d'armures de traction (25) autour desdites spires (22); et, d) on porte ledit espace d'écoulement interne (11) à une pression P supérieure à une pression donnée P_a , tandis qu'on porte simultanément ladite gaine de pression (14) à une température T supérieure à une température donnée T_a , de manière à obtenir une faible amplitude des déformations radiales audit niveau desdits intervalles (30).

Procédé de fabrication d'une conduite tubulaire flexible

La présente invention se rapporte à un procédé de fabrication d'une conduite tubulaire flexible destinée au transport des hydrocarbures et à une
5 conduite tubulaire flexible obtenue par un tel procédé.

De telles conduites sont en particulier utilisées pour le transport offshore des hydrocarbures, entre une installation sous-marine et une installation de surface.

Elles sont constituées de plusieurs couches métalliques et plastiques
10 superposées leur conférant leurs propriétés mécaniques et leurs propriétés d'étanchéité vis-à-vis de l'hydrocarbure qu'elles transportent et du milieu environnant. Aussi, les conduites tubulaires flexibles comprennent généralement, de l'intérieur vers l'extérieur, une carcasse métallique faite d'un feuillard en spirale agrafé, une gaine de pression en matériau polymère, un
15 enroulement hélicoïdal à pas court d'un fil métallique formant une voûte de pression, au moins une nappe d'armures de traction enroulées à pas long autour de ladite voûte de pression, et une gaine de protection externe.

La carcasse métallique permet d'éviter que la gaine de pression située au-dessus ne s'effondre vers l'intérieur lorsque la conduite est en dépression.
20 Lors de la fabrication de la conduite tubulaire flexible, la gaine de pression est directement extrudée coaxialement autour de la carcasse métallique qui est entraînée en translation à travers une tête d'extrusion. La gaine de pression est usuellement réalisée avec des polymères thermoplastiques, et notamment des polymères à base de Polyfluorure de vinylidène. Après que la gaine de
25 pression a été refroidie, on vient enrouler hélicoïdalement à pas court au moins un fil métallique autour de celle-ci en formant des spires non jointives. La voûte de pression ainsi formée, va permettre de préserver la gaine de pression des contraintes radiales exercées par la pression hydrostatique externe du fond marin et par celle exercée par le fluide d'hydrocarbures circulant au sein de la
30 carcasse métallique. En outre, de par sa construction, elle autorise la flexion de la conduite.

Les spires définissent entre elles des intervalles, ou des espaces communément dénommés « déjoints ». La largeur et la profondeur de ces déjoints sont fonction de la forme du fil métallique, de son épaisseur et également du pas d'hélice. On vient ensuite enrouler hélicoïdalement à pas
5 long autour de la voûte de pression, au moins une couche d'une pluralité de fils d'armures de traction, permettant précisément de reprendre les efforts de traction qui s'exercent sur la conduite. Enfin, on vient recouvrir les armures de traction d'une gaine externe de protection, laquelle est extrudée directement à travers une tête d'extrusion.

10 Ensuite, la conduite tubulaire flexible est qualifiée et testée en portant l'intérieur à une pression déterminée pendant une période également déterminée. La pression imposée à la conduite est alors prédéfinie en fonction de la pression interne quelle sera susceptible de subir lorsqu'elle sera mise en service. Conformément aux documents API 17J et API 16C relatifs
15 respectivement aux conduites flexibles non liées et aux systèmes Kill & Choke, établis par l'American Petroleum Institute, et aux normes en vigueur auxquelles il fait référence, cette pression est selon les cas, de 1,3 ou de 1,5 fois la pression de service. Cette dernière peut atteindre le millier de bars, voire la dizaine de milliers de bars.

20 Lorsque la conduite est mise en pression, en injectant par exemple de l'eau à l'intérieur, la gaine de pression va non seulement venir se plaquer contre la face interne de la voûte de pression, mais elle va également se déformer localement au niveau des déjoints. Ainsi, la surface externe de la gaine de pression va avoir tendance à fluer à l'intérieur des déjoints, tandis
25 qu'un retrait apparaît de chaque côté de la zone de fluage dans l'épaisseur de la gaine de pression. En outre, à l'opposé, vers la surface interne de la gaine de pression en contact avec la carcasse, on observe les résultats de phénomènes de cavitation.

Ainsi, la mise en pression de la conduite, en particulier durant la phase de
30 test, vient fragiliser la gaine de pression en la déformant localement tant à l'extérieur au niveau des déjoints de la voûte de pression qu'à l'intérieur au niveau de la carcasse. Au niveau des déjoints, le matériau polymère se

déforme radialement et des contraintes internes pouvant conduire à l'apparition d'un délaminage de la matière, apparaissent. Aussi, le vieillissement de la conduite en service est accéléré, et ce, notamment pour les applications en grandes profondeurs où les conditions de température et de pression sont élevées.

Pour remédier au problème du fluage de la gaine de pression à travers les déjoints de la voûte, il a été imaginé d'appliquer une couche anti-fluage entre la gaine de pression et la voûte de pression. Cette couche anti-fluage est par exemple réalisée en enroulant hélicoïdalement une bande polymérique autour de la gaine de pression avant d'enrouler le fil métallique de la voûte de pression.

Toutefois, la mise en œuvre de cette couche anti-fluage nécessite une opération supplémentaire et, même si elle résout les problèmes liés à la cavitation, en empêchant le fluage de la gaine de pression à travers les déjoints, elle représente un coût additionnel. De plus, cela implique aussi de s'assurer que cette couche reste intègre pendant au moins vingt ans si l'on ne souhaite pas que la gaine de pression flue.

Aussi, un problème qui se pose et que vise à résoudre la présente invention est de pouvoir fabriquer une conduite tubulaire flexible, dont la gaine de pression conserve non seulement son intégrité lorsque la conduite est mise en pression, mais également qui puisse être obtenue à un coût avantageux.

Dans ce but, selon un premier aspect, la présente invention propose un procédé de fabrication d'une conduite tubulaire flexible destinée au transport des hydrocarbures, ledit procédé étant du type comprenant les étapes suivantes : a) on forme une gaine de pression tubulaire déformable en matériau polymère thermoplastique, ladite gaine présentant une surface externe et une surface interne opposée définissant un espace d'écoulement interne des hydrocarbures ; puis, b) on enroule hélicoïdalement à pas court un fil métallique autour de ladite gaine de pression de manière à former des spires en appui sur ladite surface externe, lesdites spires définissant entre elles des intervalles successifs ; et, c) on enroule hélicoïdalement à pas long une pluralité de fils d'armure de traction autour desdites spires ; et finalement, d) on

porte ledit espace d'écoulement interne à une pression P supérieure à une pression donnée P_d , de sorte que ladite surface externe de ladite gaine de pression se déforme radialement au niveau desdits intervalles. Selon l'invention, à l'étape d), on porte en outre simultanément ladite gaine de pression à une température T supérieure à une température donnée T_d , de manière à pouvoir relaxer les contraintes internes dudit matériau polymère de ladite surface externe déformée obtenir une faible amplitude des déformations radiales audit niveau desdits intervalles.

Ainsi, une caractéristique de l'invention réside dans la mise en œuvre d'énergie thermique permettant de porter la gaine de pression à une température donnée T_d , tandis qu'elle est soumise à une pression interne. De la sorte, on vient non seulement relaxer les contraintes internes du matériau polymère, mais aussi, on les minimise. Partant, on observe que l'excursion de la surface externe de la gaine de pression à travers les déjoints qui se produit lors du fluage réduit significativement l'amplitude du retrait situé de chaque côté de la zone de fluage. Aussi, le niveau de contrainte associé à la déformation de la surface externe de la gaine de pression, et générateur de zone de décohésion, est moindre au niveau de la zone de fluage. On peut alors s'affranchir de la mise en œuvre relativement coûteuse d'un film écran, susceptible de se dégrader dans le temps, entre la gaine de pression et la voûte de pression. Au surplus, les résultats des phénomènes de cavitation, plus du côté de la surface interne de la gaine de pression et les zones de décohésion initialement présentes dans les excursions de la surface externe de la gaine de pression n'apparaissent plus.

On observera que ledit matériau polymère thermoplastique présente une température de transition vitreuse T_g et une température de transition secondaire T_g' supérieure à ladite première température de transition vitreuse T_g . Les polymères thermoplastiques mis en œuvre pour réaliser les gaines de pression sont des polymères semi-cristallins. Aussi, ils présentent deux phases principales, une phase cristalline et une phase amorphe. La phase cristalline correspond à des zones de polymère organisée en lamelles cristallines, lesquelles sont regroupées dans des sphérolites.

La température de transition vitreuse, caractéristique du polymère, résulte de la transformation de cette phase amorphe, entre un état vitreux où le polymère est relativement rigide et un état caoutchouteux. Il existe toutefois deux types de phase amorphe dans le matériau, un premier type où la phase amorphe est totalement libre vis-à-vis des sphérolites, et un second type où la phase amorphe est piégée dans les sphérolites entre les lamelles cristallines. On distingue ainsi le type de phase amorphe libre et le type de phase amorphe confinée. Aussi, la quantité d'énergie thermique nécessaire à la transformation de cette phase amorphe de second type, d'un état vitreux à un état caoutchouteux, est-elle par nature supérieure à la quantité d'énergie thermique permettant de transformer la phase amorphe du premier type. Par conséquent, on observe pour ce type de matériau, deux températures de transition distinctes, une température de transition vitreuse T_g déterminée par calorimétrie différentielle à balayage ou DSC, l'acronyme anglais de : « Differential Scanning Calorimetry » ou bien par analyse mécanique dynamique ou DMA, l'acronyme anglais de : « Dynamic Mechanical Analysis », et une température de transition secondaire $T_{g'}$ déterminée par analyse mécanique dynamique. Partant, selon un mode de mise en œuvre de l'invention particulièrement avantageux, ladite température donnée T_d est comprise entre T_g et $T_{g'}$. T_d peut être égale ou supérieure à $T_{g'}$ mais pour des raisons de coûts, on préférera fixer la température T_d entre T_g et $T_{g'}$.

Préférentiellement, ladite température donnée T_d est voisine de ladite température de transition secondaire $T_{g'}$. Avantageusement, ladite température donnée T_d est supérieure à la température ambiante T_0 , laquelle vaut en moyenne 18 °C. Bien évidemment, la température ambiante varie en fonction de la situation géographique où l'on se trouve. Cette température donnée T_d est par exemple comprise entre 40° et 80 °C voire supérieure à 80°C suivant la nature du matériau polymère thermoplastique extrudé autour de la carcasse métallique.

Selon un mode de mise en œuvre de l'invention avantageux, à l'étape d), ladite pression donnée P_d est supérieure à la pression atmosphérique P_0 . En effet, la pression donnée P_d doit nécessairement être supérieure à la pression

de service de la conduite tubulaire flexible de manière à anticiper tout défaut qui induirait sa détérioration. On considère ainsi, que si la gaine de pression de la conduite résiste à une pression interne supérieure à la pression de service, elle pourra résister à une période de temps suffisamment longue à la pression de service.

Préférentiellement, à l'étape d), ledit espace d'écoulement interne est porté à une première pression P_1 pendant une première période de temps t_1 et à une seconde pression P_2 pendant une seconde période de temps t_2 . De la sorte, les contraintes résiduelles induites dans le matériau après les étapes d'extrusion et de refroidissement de la gaine de pression vont être atténués grâce à des mécanismes de relaxation dus à la température et aux variations de pression, et les niveaux de contrainte dans la gaine de pression, générés par la mise en pression dudit espace d'écoulement interne pendant l'étape d) sont limités. Aussi, les phénomènes de cavitation sont plus encore atténués. En outre, les caractéristiques mécaniques du matériau polymère de la gaine de pression sont moins impactées par l'effet de la pression.

De manière avantageuse, ledit espace d'écoulement interne est porté à une pression P inférieure à ladite pression donnée P_d entre lesdites première et seconde périodes de temps t_1 et t_2 . Par exemple, ledit espace d'écoulement interne est porté, entre lesdites première et seconde périodes de temps t_1 et t_2 , à une pression P voisine de la pression atmosphérique P_0 .

En outre, de manière préférée, ladite première période de temps t_1 est supérieure à la période de temps recommandée par les documents normatifs de l'American Petroleum Institute. Par ailleurs, ladite seconde période de temps t_2 est supérieure ou égale à ladite première période de temps t_1 . Et par exemple, ladite seconde période de temps t_2 est comprise entre une et trois fois ladite première période de temps t_1 . Selon un mode de mise en œuvre particulièrement avantageux, la première période de temps t_1 présente une durée supérieure ou égale à 12 heures, et la seconde période de temps t_2 voisine de 24 heures.

Selon une caractéristique particulièrement avantageuse de l'invention, ledit matériau polymère thermoplastique est choisi parmi les matériaux de la

famille des polymères fluorés. Par exemple, le matériau polymère est le Polyfluorure de vinylidène, ou bien un matériau choisi parmi les copolymères de fluorure de vinylidène, c'est-à-dire parmi les polymères dont la chaîne principale est constituée de deux ou trois monomère de nature chimique différente, un des monomères principaux étant le fluorure de vinylidène, et les autres monomères étant choisi parmi les monomères suivants : l'hexafluoropropylène, le perfluoro(méthylvinyle)éther, le perfluoro(éthylvinyle)éther, le perfluoro(propylvinyle)éther, le tétrafluoroéthylène, le perfluorobutyléthylène, le fluoropropylène, le chlorotrifluoroéthylène, le chlorodifluoroéthylène, le chlorofluoroéthylène, le trifluoroéthylène, le poly(éthylène-co-tétrafluoroéthylène), le poly(perfluoroalcoxyéthylène), le poly(perfluorométhoxyéthylène), le poly(éthylène-propylène perfluoré), le poly chlorotrifluoroéthylène, le poly(éthylène-co-chlorotrifluoroéthylène), ou bien un mélange de ces polymères pris en combinaison.

Aussi, et de manière non limitative, le matériau polymère est choisi parmi la famille des polysulfoniques tel que le poly(sulfure de phénylène) ou bien il est choisi parmi la famille des polyaryléthercétone tel que le polyétheréthercétone (PEEK).

En outre, et selon une autre caractéristique particulièrement avantageuse, entre l'étape c) et l'étape d), on forme une gaine de protection tubulaire autour de ladite pluralité de fils d'armure de traction. Cette gaine permet de préserver l'intérieur de la conduite tubulaire flexible, et en particulier les fils métalliques vis-à-vis de l'eau du milieu marin.

Selon un autre objet, la présente invention concerne une conduite tubulaire flexible destinée au transport des hydrocarbures, obtenue par un procédé de fabrication tel que décrit ci-dessus.

D'autres particularités et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description faite ci-après d'un mode de réalisation particulier de l'invention, donné à titre indicatif mais non limitatif, en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la Figure 1 est une vue schématique en perspective partielle et en écorché d'une conduite tubulaire flexible obtenue selon un procédé de fabrication conforme à l'invention ;

- la Figure 2 est une vue schématique partielle en coupe axiale de la
5 conduite tubulaire flexible illustrée sur la figure 1, selon une première configuration ;

- la Figure 3 est un graphique représentant le profil de pression appliqué à la conduite tubulaire flexible illustrée sur la figure 1 conformément au procédé de fabrication selon l'invention ; et,

10 - la Figure 4 est une vue schématique partielle en coupe axiale de la conduite tubulaire flexible illustrée sur la figure 1, selon une seconde configuration.

L'objet de l'invention, selon un premier aspect, est un procédé de fabrication d'une conduite tubulaire flexible destinée au transport des
15 hydrocarbures en milieu marin. On se référera tout d'abord à la figure 1 représentant en écorché une conduite tubulaire flexible 10, afin de décrire les premières étapes successives de la fabrication de la conduite. Elle représente les différentes couches superposées qui forment la conduite et celles-ci sont successivement formées les unes sur les autres, de l'intérieur 11 de la
20 conduite vers l'extérieur 13. L'intérieur 11 forme un espace d'écoulement interne de l'hydrocarbure.

La figure 1 illustre une carcasse 12 qui est la première couche de la conduite tubulaire flexible 10. Elle est optionnelle, aussi dans certaines circonstances, la conduite tubulaire flexible 10 en est dépourvue. Elle est
25 réalisée en formant un ruban métallique, ou feuillard, en recourbant en U les deux bordures opposées dans deux sens opposés l'un de l'autre et en l'enroulant en spirale pour engager les bordures l'une dans l'autre. Cette opération constitue une liaison par agrafage.

Après que cette carcasse 12 d'une longueur donnée a été réalisée, puis
30 enroulée sur un touret adapté, on vient l'engager à travers une tête d'extrusion circulaire et la dérouler en continu de manière à extruder coaxialement une gaine de pression 14 en matériau polymère sur la carcasse 12. Pour ce faire,

le matériau polymère est extrudé à chaud. La gaine de pression 14 présente une épaisseur qui s'étend entre une surface interne 16 et une surface externe opposée 18. La surface interne 16 de la gaine de pression 14 est alors en contact avec la carcasse 12.

5 Le matériau polymère mis en œuvre est un matériau thermoplastique semi-cristallin et dans l'exemple présenté c'est un matériau à base de Polyfluorure de vinylidène. D'autres polymères fluorés semi-cristallins sont susceptibles d'être mis en œuvre pour cette application, notamment le poly(perfluoroalcoxyéthylène) (PFA) que l'on détaillera ci-après. Le matériau
10 est à base de Polyfluorure de vinylidène en ce sens qu'il contient essentiellement ce composé avec en surplus, des additifs usuels, notamment pour faciliter l'extrusion ou résister à la dégradation. Il contient également des plastifiants, par exemple dans une proportion pondérale inférieure à 15 %, préférentiellement inférieure à 5%.

15 Ce matériau polymère présente deux températures de transition distinctes, vitreuse T_g et secondaire $T_{g'}$ représentatives de deux types de phase amorphe, l'un où la phase amorphe est libre entre les sphérolites, l'autre où elle est piégée dans des lamelles cristallines constituant précisément les sphérolites. Précisément pour ce matériau polymère, la première température
20 de transition vitreuse T_g , ou principale, est sensiblement comprise entre -30 °C et -40 °C, mesurée à la pression atmosphérique. La température de transition secondaire $T_{g'}$ est, elle, comprise entre 40 °C et 80 °C mesurée à la pression atmosphérique. On expliquera plus en détail ci-après, les comportements du matériau polymère durant le procédé de fabrication de la conduite en relation
25 avec ces deux paramètres T_g et $T_{g'}$.

Après la formation de la gaine de pression 14 sur la carcasse 12, celle-ci est refroidie jusqu'à atteindre le voisinage de la température ambiante, soit environ 18 °C.

30 Ensuite, la gaine de pression 14 est recouverte d'une voûte de pression 20 faite d'un fil métallique de section sensiblement rectangulaire, enroulé en spirale à pas court en formant des spires 22 non jointives. Les spires 22 contiguës sont espacées les unes des autres en formant des intervalles, ou

dé joints, et elles viennent s'appliquer radialement sur la surface externe 18 de la gaine de pression 14. La voûte de pression 20 permet de reprendre les efforts externes exercés radialement par la pression hydrostatique sur la conduite tubulaire flexible en milieu marin ainsi que les efforts internes radiaux exercés par la circulation du fluide d'hydrocarbures au sein de l'espace d'écoulement interne. De la sorte la gaine de pression 14 est préservée.

On observera également que la voûte de pression 20 n'est pas nécessairement réalisée par l'enroulement d'un seul fil et qu'au surplus, ce fil n'est pas nécessairement de section rectangulaire. Il peut présenter une section particulière, par exemple de géométrie en forme de Z, de T, de U ou de K, permettant d'agrafer entre elles les spires. Cependant la présence des dé joints demeure.

La voûte de pression 20 est ensuite recouverte d'au moins deux nappes 24, 26 d'une pluralité de fils d'armures 25 enroulées à pas long et dans deux sens opposés l'un de l'autre. Les armures de ces nappes 24, 26 sont dites, armures de traction, car elles permettent de reprendre les efforts de traction qui s'exercent sur la conduite en exploitation.

Enfin, les deux nappes 24, 26 d'armures de traction sont recouvertes d'une gaine d'étanchéité externe 28 réalisée dans un matériau plastique, et par exemple, un matériau identique à celui de la gaine de pression 20. Cette gaine d'étanchéité externe 28, permet de préserver la structure interne de la conduite flexible 10 vis-à-vis du milieu marin, et notamment les fils métalliques des nappes d'armures 24, 26 et aussi de la voûte de pression 20.

La conduite tubulaire flexible 10 ainsi obtenue va alors subir d'autres étapes de fabrication. Usuellement, l'intérieur de la conduite tubulaire flexible 10 est pressurisée de manière à pouvoir tester notamment, son étanchéité et son intégrité. La figure 2 illustre partiellement en coupe hémi-axiale la conduite tubulaire flexible 10 après que ce test de pression a été réalisé.

On retrouve sur la figure 2, la gaine d'étanchéité externe 28 recouvrant les deux nappes d'armures 24, 26 qui elles-mêmes recouvrent la voûte de pression 20. Cette dernière présente en section les spires non jointives 22 lesquelles sont espacées les unes des autres pour former les dé joints 30. On

retrouve également sur cette figure 2, la gaine de pression 14 appuyée sur la carcasse 12, et présentant sa surface interne 16 et sa surface externe 18 opposée.

On observera que la surface externe 18 présente des déformations
5 locales au niveau des déjoints 30, et notamment des déformations radiales. Ainsi, la surface 18 présente, au droit des déjoints 30, une excursion massive 32 du matériau polymère à l'intérieur des déjoints 30 et de chaque côté des excursions massives 32, sensiblement au droit des bords internes 31, 33, des spires 22, un retrait 34 du matériau polymère. En effet, sous l'action de la
10 pression, la gaine de pression vient s'appliquer à force contre les spires 22 de la voûte de pression 20 et le matériau polymère vient fluer à travers les déjoints 30. Mais, lorsque l'on cesse d'appliquer la pression, le matériau se rétracte au niveau des bords interne 31, 33. Ce fluage à travers les déjoints 30 peut conduire à une décohésion du matériau polymère au sein des excursions
15 massives 32 et à un retrait et un endommagement de la matière au niveau de la surface externe 18 de la gaine de pression 14. Ces phénomènes se manifestent soit dès lors du test de pression permettant de tester et qualifier la conduite tubulaire flexible, soit ultérieurement lorsqu'elle est en fonctionnement sur le site de production d'hydrocarbures. Au surplus, à l'opposé du côté de la
20 surface interne 16 de la gaine de pression 14, on observe des défauts 36 dus au phénomène de cavitation. Ces phénomènes sont liées à la mise en pression de l'intérieur de la conduite tubulaire flexible 10. En effet, cette mise en pression peut être de l'ordre de 1500 bars, ou selon un exemple de mise en œuvre de 2172 bars.

25 Contre toute attente, il s'avère que la mise en pression de l'intérieur de la conduite tubulaire flexible 10 concomitamment à l'apport d'énergie thermique à la gaine de pression 20, permettent non seulement de réduire les phénomènes d'endommagement de la surface externe 18 au niveau des déjoints 30, mais aussi les conséquences des phénomènes de cavitation. En effet, comme
30 expliquer ci-après en référence à la figure 4, en augmentant la température de la gaine de pression 20, sa viscosité diminue et partant, le retrait au niveau des bords internes 31, 33 des déjoints 30 ainsi que la propagation des défauts 36

présents dans les excursions 32 et au niveau de la face interne 16 de la gaine de pression 14 sont minimisés.

On décrira à présent, en référence à la figure 3, le profil de pression P appliqué à la conduite tubulaire flexible 10 en fonction du temps. Ainsi, la figure 3 illustre un diagramme 40 présentant sur un axe des abscisses 42, le facteur temps, et sur un axe des ordonnées 44, la pression. L'intérieur de la conduite tubulaire flexible 10 est alors mise en pression en injectant un fluide sous pression, par exemple de l'eau. Dans une première phase de pressurisation 46, la pression P est portée à une valeur de pression P_1 , par exemple 1500 bars, en 4 heures. Cette pression P_1 est alors maintenue pendant une période de temps t_1 par exemple de 12 heures. Ensuite, lors d'une phase de dépressurisation 48 la pression est abaissée rapidement à une valeur P_i voisine de la pression atmosphérique P_0 pour être remontée ensuite durant une seconde phase de pressurisation 50 à une seconde valeur de pression P_2 , inférieure à P_1 . La conduite est alors maintenue à la pression P_2 pendant une seconde période de temps t_2 , par exemple de 24 heures.

Selon un autre aspect de l'invention, afin d'apporter de l'énergie thermique à la gaine de pression 20, on injecte un fluide chaud à l'intérieur de la conduite tubulaire flexible 10. Le fluide chaud est par exemple de l'eau portée à une température sensiblement supérieure à 80 °C. De la sorte, la température de la gaine de pression 20 atteint progressivement une température voisine de 80 °C. Cette température est alors maintenue durant toute la période du cycle de pressurisation/dépressurisation/pressurisation, laquelle période peut s'étendre sur environ 40 heures.

Avantageusement, on met en œuvre une bâche longitudinalement autour de la structure de la conduite tubulaire flexible 10, de façon à limiter la dissipation d'énergie thermique apportée pour chauffer cette dernière.

Selon une variante, la conduite tubulaire flexible 10 est placée à l'intérieur d'une enceinte hermétique régulée en température. La circulation d'un fluide chaud dans l'enceinte permet d'apporter l'énergie thermique à la gaine de pression 20.

Selon une autre variante, on arrange une bâche régulée thermiquement comprenant des tubes métalliques ou des résistances, autour et le long de la structure de la conduite tubulaire flexible 10 pour apporter l'énergie thermique à la gaine de pression 20. Ainsi, on fait circuler un fluide chaud tel que de l'eau
5 ou une huile au sein des tubes métalliques pour chauffer ladite gaine tandis que l'on fait circuler un courant électrique au sein des résistances pour chauffer ladite gaine.

De manière avantageuse, on combine l'injection d'un fluide chaud à l'intérieur de la conduite flexible 10 avec l'arrangement d'une bâche régulée
10 thermiquement.

On se reportera à présent sur la figure 4 montrant les résultats du chauffage de la gaine de pression 14, durant l'épreuve de pressurisation interne de la conduite tubulaire flexible 10.

On retrouve sur la figure 4, la conduite tubulaire flexible 10 en coupe
15 héli-axiale telle que représentée sur la figure 2. On y retrouve notamment la gaine de pression 14 située entre la carcasse 12 et la voûte de pression 20. On observera, que de chaque côté des déjoints 30, la surface externe 18 de la gaine de pression 14 tangente les bords internes 31, 33 des spires 22 et les zones de retrait, telles qu'illustrées sur la figure 2 ont disparu. Au surplus, au
20 sein des excursions 32 et du côté de la surface interne 16 de la gaine de pression 14, il n'apparaît plus de traces des phénomènes de cavitation, ni de zones de décohésion observés précédemment.

La diminution de la viscosité du matériau permet de remplir l'intérieur des déjoints 30 en minimisant les contraintes internes dans la matière. Cette
25 minimisation des contraintes permet de ne pas générer de cavitation.

Ainsi, il apparaît que la mise en pression de la conduite tubulaire flexible 10 conjointement à un apport thermique à la gaine de pression 14 à une température voisine de la température de transition secondaire T_g du matériau polymère, permet d'obtenir une meilleure intégrité de cette gaine de pression
30 14, sans avoir recours à un film écran. En procédant ainsi, on est sûr que la gaine de pression reste intègre durant toute la durée de vie de la conduite

tubulaire flexible en service, celle-ci étant soumise à plusieurs cycles de montée/descente en pression et en température et partant à du vieillissement.

Lorsque le matériau polymère est porté à une température voisine ou supérieure à la température de transition secondaire T_g , toutes les zones de phase amorphe, libres ou confinés, passent par un état caoutchouteux, et partant, les contraintes induites dans le matériau polymère au niveau des déformations engendrées par le fluage de celui-ci dans des dé joints 30, se dissipent par un mécanisme de relaxation dans une zone étendue du matériau polymère.

10 En outre, il s'avère qu'au voisinage de la température de transition secondaire T_g le matériau polymère subi de grandes déformations sans qu'apparaisse le phénomène de cavitation.

Selon une variante d'exécution de l'invention, le matériau polymère mis en œuvre pour réaliser la gaine de pression 14 est le Poly(perfluoroalcoxyéthylène) ou PFA. La température de transition vitreuse T_g de ce matériau thermoplastique est d'environ -80°C et la température de transition secondaire T_g est d'environ 90°C . Il est possible, en appliquant le même procédé que celui décrit ci-dessus, d'obtenir une gaine en PFA intègre pendant au moins 20 ans.

20 La mise en pression de l'intérieur de la conduite 10 à une pression P_d au moins égale à 1500 bars combiné à un apport d'énergie thermique proche de la température de transition secondaire T_g du PFA, soit aux environs de 80°C , permet d'éviter l'apparition d'un défaut 36 de la surface interne 16 de la gaine de pression 14, défaut dû au phénomène de cavitation.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de fabrication d'une conduite tubulaire flexible destinée au transport des hydrocarbures, ledit procédé étant du type comprenant les
5 étapes suivantes :

a) on forme une gaine de pression tubulaire (14) déformable en matériau polymère thermoplastique, ladite gaine de pression tubulaire (14) présentant une surface externe (18) et une surface interne (16) opposée définissant un espace d'écoulement interne (11) des hydrocarbures ;

10 b) on enroule hélicoïdalement à pas court un fil métallique autour de ladite gaine de pression tubulaire (14) de manière à former des spires (22) en appui sur ladite surface externe (18), lesdites spires définissant entre elles des intervalles successifs (30) ;

c) on enroule hélicoïdalement à pas long une pluralité de fils d'armures de
15 traction (25) autour desdites spires (22) ; et,

d) on porte ledit espace d'écoulement interne (11) à une pression P supérieure à une pression donnée P_d , de sorte que ladite surface externe (18) de ladite gaine de pression se déforme radialement au niveau desdits intervalles (30) ;

20 caractérisé en ce qu'à l'étape d), on porte en outre simultanément ladite gaine de pression tubulaire (14) à une température T supérieure à une température donnée T_d , de manière à pouvoir relaxer les contraintes internes dudit matériau polymère de ladite surface externe (18) déformée audit niveau desdits intervalles (30).

25 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, ledit matériau polymère thermoplastique présentant une température de transition vitreuse T_g et une température de transition secondaire $T_{g'}$ supérieure à ladite température de transition vitreuse T_g , ladite température donnée T_d est comprise entre T_g et $T_{g'}$.

30 3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que ladite température donnée T_d est voisine de ladite seconde température de transition vitreuse $T_{g'}$.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ladite température donnée T_d est supérieure à la température ambiante T_0 .

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'à l'étape d), ladite pression donnée P_d est supérieure à la pression atmosphérique P_0 .

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'à l'étape d), ledit espace d'écoulement interne (11) est porté à une première pression P_1 pendant une première période de temps t_1 et à une seconde pression P_2 pendant une seconde période de temps t_2 .

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que ledit espace d'écoulement interne (11) est porté à une pression P inférieure à ladite pression donnée P_d entre lesdites première et seconde périodes de temps t_1 et t_2 .

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que ledit espace d'écoulement interne (11) est porté, entre lesdites première et seconde périodes de temps t_1 et t_2 , à une pression P voisine de la pression atmosphérique P_0 .

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, caractérisé en ce que ladite seconde période de temps t_2 est supérieure ou égale à ladite première période de temps t_1 .

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 6 à 9, caractérisé en ce que ladite première période de temps t_1 présente une durée supérieure ou égale à 12 heures.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que ledit matériau polymère thermoplastique est choisi parmi les matériaux de la famille des polymères fluorés.

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que ledit matériau polymère thermoplastique est choisi parmi les matériaux de la famille des polymères sulfoniques ou de la famille des polymères aryléthercétone.

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce qu'entre l'étape c) et l'étape d), on forme une gaine de protection tubulaire (28) autour de ladite pluralité de fils d'armures de traction (25).

- 5 14. Conduite tubulaire flexible destinée au transport des hydrocarbures, obtenue par un procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 13.

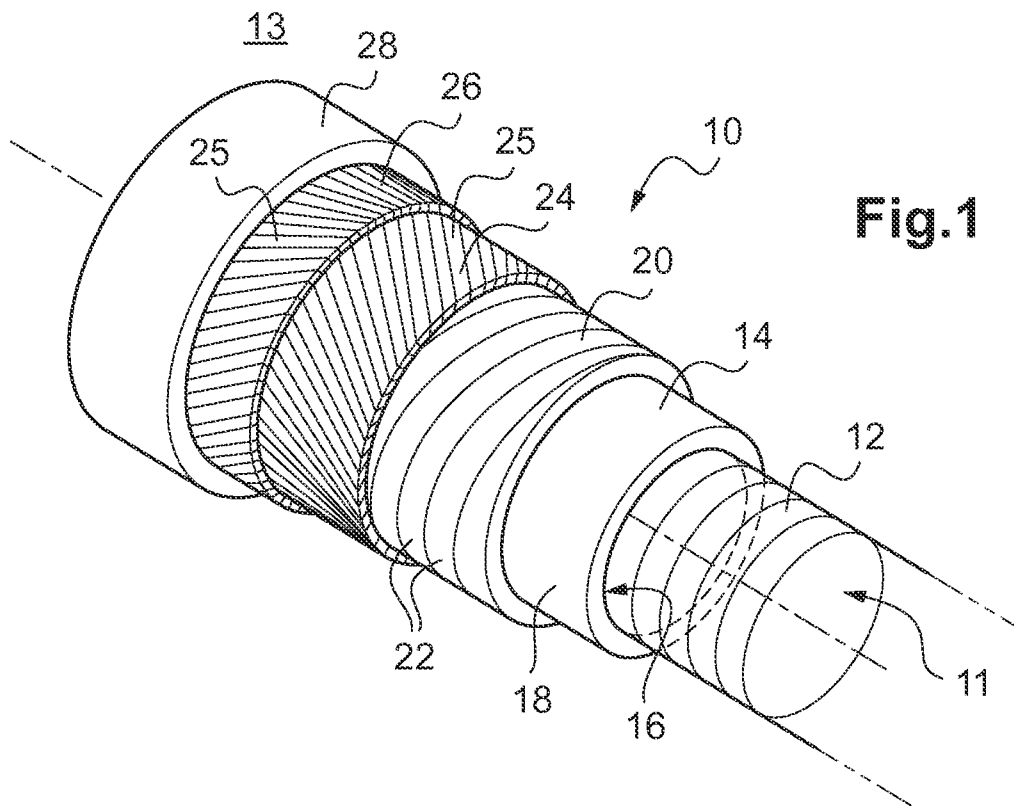


Fig.1

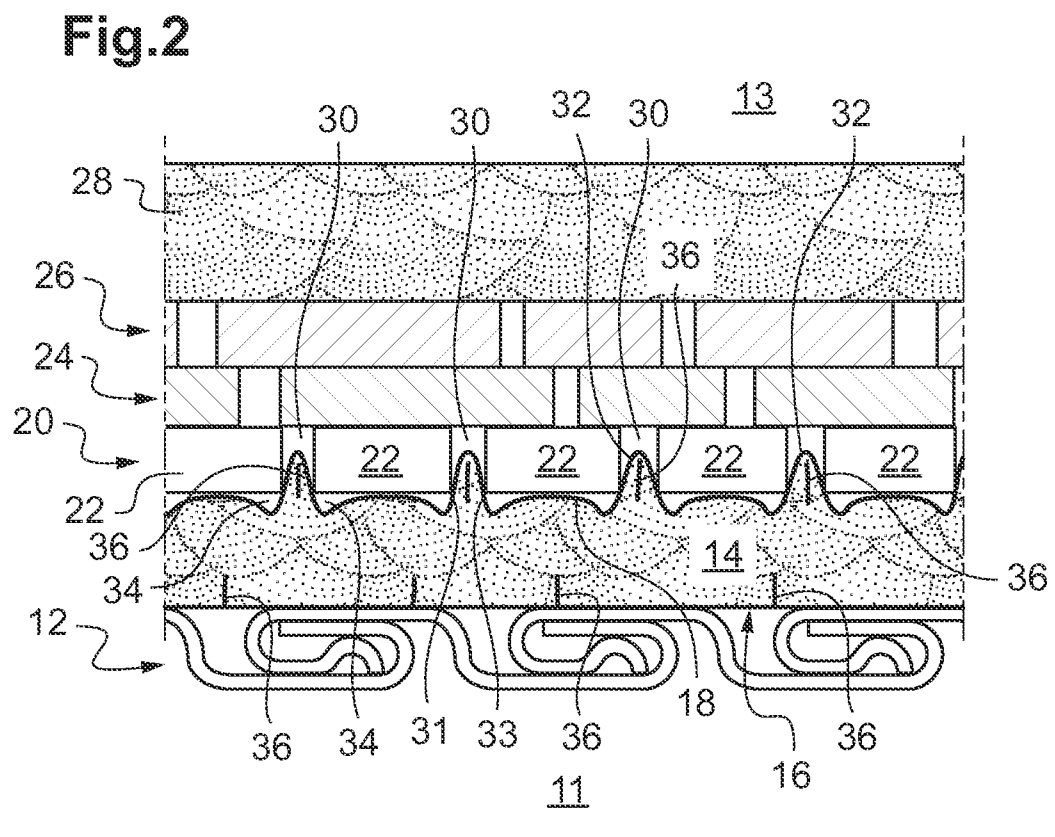
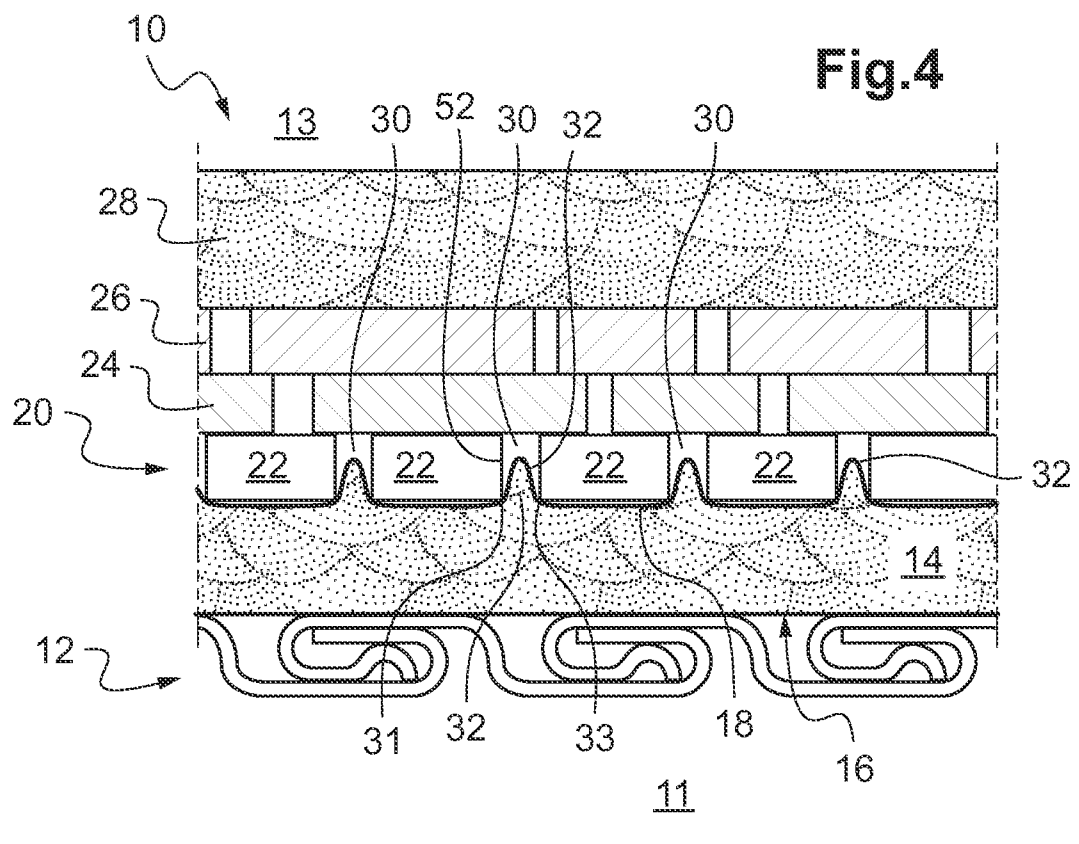
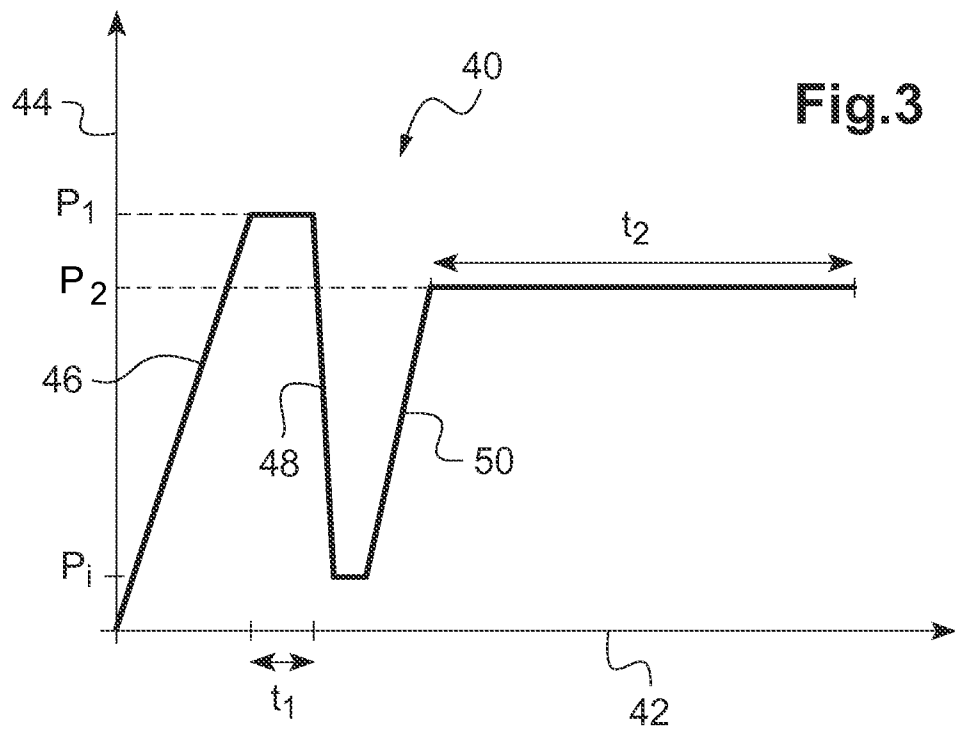


Fig.2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2014/052043

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. F16L11/08

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)

F16L

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2008/025893 A1 (TECHNIP FRANCE [FR]; JUNG PATRICE JOEL LOUIS [FR]; SECHER PHILIPPE [FR] 6 March 2008 (2008-03-06) page 8, lines 10-23; figure 2 -----	1-14
A	FR 2 590 646 A1 (INST FRANCAIS DU PETROLE [FR]) 29 May 1987 (1987-05-29) page 8, line 30 - page 9, line 5; figure 1 -----	1-14
A	FR 2 782 141 A1 (COFLEXIP [FR]) 11 February 2000 (2000-02-11) page 3, paragraph 2; figure 2 -----	1-14
A	WO 2012/131260 A1 (TECHNIP FRANCE [FR]; FELIX-HENRY ANTOINE [FR]; ESTRIER PASCAL [FR]) 4 October 2012 (2012-10-04) claim 1 -----	1-14



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 September 2014

Date of mailing of the international search report

10/10/2014

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

Dauvergne, Bertrand

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2014/052043

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2008025893	A1	06-03-2008	
		AU 2007291172 A1	06-03-2008
		BR PI0715655 A2	19-03-2013
		CA 2661126 A1	06-03-2008
		DK 2059703 T3	14-01-2013
		EP 2059703 A1	20-05-2009
		FR 2905444 A1	07-03-2008
		US 2011036441 A1	17-02-2011
		WO 2008025893 A1	06-03-2008

FR 2590646	A1	29-05-1987	NONE

FR 2782141	A1	11-02-2000	
		AU 750062 B2	11-07-2002
		AU 5167799 A	06-03-2000
		BR 9911306 A	13-03-2001
		DK 1104527 T3	02-04-2002
		EP 1104527 A1	06-06-2001
		FR 2782141 A1	11-02-2000
		US 6354333 B1	12-03-2002
		WO 0009930 A1	24-02-2000

WO 2012131260	A1	04-10-2012	
		AU 2012236036 A1	26-09-2013
		EP 2691679 A1	05-02-2014
		FR 2973469 A1	05-10-2012
		US 2014076451 A1	20-03-2014
		WO 2012131260 A1	04-10-2012

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2014/052043

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. F16L11/08
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)
F16L

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-Internat

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	WO 2008/025893 A1 (TECHNIP FRANCE [FR]; JUNG PATRICE JOEL LOUIS [FR]; SECHER PHILIPPE [FR] 6 mars 2008 (2008-03-06) page 8, ligne 10-23; figure 2 -----	1-14
A	FR 2 590 646 A1 (INST FRANCAIS DU PETROLE [FR]) 29 mai 1987 (1987-05-29) page 8, ligne 30 - page 9, ligne 5; figure 1 -----	1-14
A	FR 2 782 141 A1 (COFLEXIP [FR]) 11 février 2000 (2000-02-11) page 3, alinéa 2; figure 2 -----	1-14
A	WO 2012/131260 A1 (TECHNIP FRANCE [FR]; FELIX-HENRY ANTOINE [FR]; ESTRIER PASCAL [FR]) 4 octobre 2012 (2012-10-04) revendication 1 -----	1-14



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



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

16 septembre 2014

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

10/10/2014

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

Dauvergne, Bertrand

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2014/052043

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2008025893 A1	06-03-2008	AU 2007291172 A1 BR PI0715655 A2 CA 2661126 A1 DK 2059703 T3 EP 2059703 A1 FR 2905444 A1 US 2011036441 A1 WO 2008025893 A1	06-03-2008 19-03-2013 06-03-2008 14-01-2013 20-05-2009 07-03-2008 17-02-2011 06-03-2008
FR 2590646 A1	29-05-1987	AUCUN	
FR 2782141 A1	11-02-2000	AU 750062 B2 AU 5167799 A BR 9911306 A DK 1104527 T3 EP 1104527 A1 FR 2782141 A1 US 6354333 B1 WO 0009930 A1	11-07-2002 06-03-2000 13-03-2001 02-04-2002 06-06-2001 11-02-2000 12-03-2002 24-02-2000
WO 2012131260 A1	04-10-2012	AU 2012236036 A1 EP 2691679 A1 FR 2973469 A1 US 2014076451 A1 WO 2012131260 A1	26-09-2013 05-02-2014 05-10-2012 20-03-2014 04-10-2012