

(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
30 août 2007 (30.08.2007)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2007/096547 A2

(51) Classification internationale des brevets : **Non classée**

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2007/050752

(22) Date de dépôt international : 6 février 2007 (06.02.2007)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0601603 24 février 2006 (24.02.2006) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
SAIPEM S.A. [FR/FR]; 1/7 Avenue San Fernando,
F-78180 Montigny Le Bretonneux (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **BAYLOT,**
Michel [FR/FR]; 20, Impasse de la Planche, F-13008 Mar-
seille (FR). **GOALABRE, Jean-Yves** [FR/FR]; 60 Tra-
verse Pourrière, 13 les Jardins du Roy d'Espagne, F-13008

Marseille (FR). **PIONETTI, François-Régis** [FR/FR]; Le
Haut Bosc, F-50450 La Baleine (FR).

(74) Mandataire : **DOMANGE, Maxime**; Cabinet Beau de
Loménie, 232, Avenue du Prado, F-13295 Marseille Cedex
08 (FR).

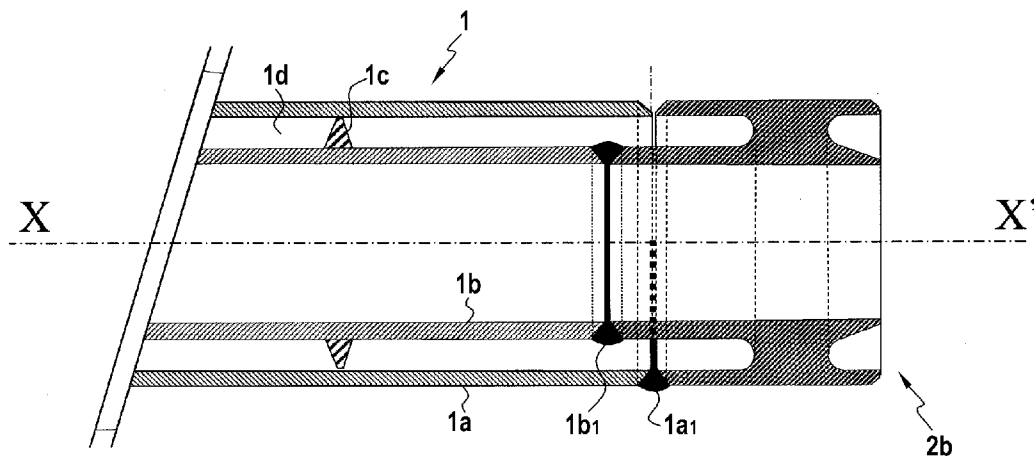
(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO,
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,
GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP,
KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT,
LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: ELEMENT COMPRISING COAXIAL PIPES AND PRODUCTION METHOD THEREOF

(54) Titre : ELEMENT DE CONDUITES COAXIALES ET PROCEDE DE FABRICATION



(57) Abstract: The invention relates to a method for producing an element (1) comprising coaxial pipes, including an inner pipe (1a), an outer pipe (1b) and a forged connector (2a, 2b) at each of the ends thereof, each connector consisting of at least a first inner arm (3₂) which is recessed (L₁) in relation to a first outer arm (3₁). According to the invention, all of the circular welds between the inner pipe and the outer pipe and the connectors are made from the exterior of the pipes. The invention also relates to the coaxial pipe element (1) thus produced, which is characterised in that the inner pipe (1b) is subjected to a tensile stress.

(57) Abrégé : La présente invention concerne un procédé de fabrication d'un élément de conduites coaxiales (1) comprenant une conduite interne (1a) et une conduite externe (1b) et comportant à chacune de ses extrémités une pièce de jonction forgée (2a, 2b), comportant au moins une première branche interne (3₂) en retrait (L₁) par rapport à une première branche externe (3₁), dans lequel on réalise toutes les soudures circulaires entre lesdites conduites interne et externe et lesdites pièces de jonction, depuis l'extérieur desdites conduites. La présente invention concerne également un élément de conduites coaxiales (1), obtenu par le procédé et caractérisé en ce que ladite conduite interne (1b) est soumise à une contrainte de traction.



WO 2007/096547 A2



ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

Publiée :

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport*

ELEMENT DE CONDUITES COAXIALES ET PROCEDE DE FABRICATION

La présente invention concerne un procédé de fabrication d'un élément unitaire d'ensemble de conduites coaxiales, notamment des conduites sous-marines véhiculant des fluides chauds ou froids, de préférence des conduites sous-marines destinées aux grandes profondeurs.

Dans la majorité des domaines industriels on recherche des systèmes d'isolation performants pour maintenir les fluides véhiculés dans les tuyauteries à température constante, de manière à ce que les transferts entre équipements puissent être rendus possibles sur des distances importantes, atteignant par exemple plusieurs centaines de mètres, voire plusieurs kilomètres. De telles distances sont courantes dans les industries telles que les raffineries de pétrole, les installations de gaz naturel liquéfié (-165°C), les champs pétroliers sous-marins lesquels s'étendent sur plusieurs dizaines de kilomètres. De tels champs pétroliers sont développés par des profondeurs d'eau de plus en plus importantes lesquelles peuvent dépasser 3000 m.

La présente invention concerne en particulier des éléments de conduites coaxiales destinées à la fabrication de conduites sous-marines installées sur les champs pétroliers par très grandes profondeurs, notamment les conduites de liaison fond-surface en suspension entre le fond de la mer et un navire de surface ancré sur ledit champ pétrolier.

Ces conduites coaxiales sont appelées "Pipe In Pipe" ou PiP, c'est à dire "conduite dans une conduite", dans laquelle une conduite interne véhicule le fluide et une conduite externe coaxiale à la précédente, appelée aussi "enveloppe externe", est en contact avec le milieu ambiant, c'est-à-dire l'eau. L'espace annulaire entre les deux conduites peut être rempli d'un matériau isolant ou encore être vidé de tout gaz.

Ces systèmes ont été développés pour atteindre un haut niveau de performance thermique et des versions spécifiques ont été développées pour répondre de manière plus adaptée aux grands fonds, c'est à dire pour résister à la pression du fond de la mer. En effet, la pression de l'eau étant

sensiblement de 0.1 MPa, soit environ 1 bar pour 10m de profondeur, la pression à laquelle doit résister la conduite est alors d'environ 10 MPa, soit environ 100 bars pour 1000m de profondeur et d'environ 30 MPa, soit environ 300 bars pour 3000m.

5 Ces ensembles de conduites coaxiales sont fabriqués par assemblage bout à bout de longueurs unitaires dénommées ci-après "éléments de conduites coaxiales" ou "rames de conduites coaxiales", dont la longueur est en général de 10 à 100 mètres, plus particulièrement d'environ 12, 24 ou 48 mètres chacun(e).

10 Dans le cadre de l'installation de conduites sous-marines par grande profondeur, ces éléments de longueur unitaire sont fabriqués à terre. Puis, ils sont transportés en mer sur un navire de pose. Lors de la pose, les éléments unitaires d'ensemble de conduites coaxiales sont raccordés les uns aux autres à bord du navire et au fur et à mesure de leur pose en mer. Il est donc
15 important que ce raccordement puisse être intégré dans le procédé de montage et d'assemblage de la conduite et de pose de celle-ci au fond de la mer en le retardant le moins possible, et puisse donc être réalisé rapidement et aisément.

Pour ce faire, on utilise des pièces de jonction ou pièces de
20 raccordement forgées en acier, assemblées aux extrémités desdits éléments d'ensemble de conduites coaxiales à assembler. La pièce de jonction à l'extrémité aval d'un premier élément d'ensemble de conduites coaxiales non encore assemblé, étant raccordée à la pièce de jonction à l'extrémité libre
25 amont d'un deuxième élément d'ensemble de conduites coaxiales déjà assemblé en aval.

Ces pièces de jonction forgées visent également à renforcer la résistance des conduites soumises à des flexions importantes au cours de la pose, notamment dans la zone de raccordement de deux dites longueurs unitaires successives, et plus particulièrement, dans le cas de liaisons fond-
30 surface, à leur conférer une très grande résistance à la fatigue durant toute la durée de vie des installations.

Plus particulièrement la présente invention concerne desdites pièces forgées de jonction comprenant deux branches de révolution dont une branche externe et une branche interne formant une fourche délimitant ledit espace annulaire, fourche dont les extrémités cylindriques libres sont
5 assemblées directement aux extrémités cylindriques respectivement des conduites externes et internes.

Des conduites coaxiales et pièces de jonction de ce type ont été décrits notamment dans FR 2 873 427.

Une opération fondamentale pour la fiabilité mécanique des conduites
10 PiP, réside dans les soudures entre les pièces de jonction forgées et lesdites conduites coaxiales. En particulier, les soudeurs doivent pouvoir contrôler la soudure en cours de réalisation et après réalisation, notamment à l'aide de dispositifs de contrôle de soudure par sonde à ultrasons, qui peuvent être mis en œuvre de manière manuelle ou robotisée par un opérateur, et, en tout état
15 de cause, doivent être déplacés contre et à proximité de la soudure, d'une part, axialement en translation d'avant en arrière dans la zone de la soudure, et d'autre part, sur toute la circonférence de la périphérie de la conduite dans ladite zone de soudure.

C'est pourquoi, il est souhaitable de pouvoir réaliser les soudures entre
20 les pièces de jonction et les conduites coaxiales, depuis l'extérieur des conduites concernées, pour pouvoir les contrôler plus facilement. Mais, dans le cas de pièces de jonction forgées de type comprenant deux branches de révolution dont les extrémités cylindriques sont assemblées aux extrémités cylindriques respectives des conduites internes et externes, ce soudage depuis
25 l'extérieur n'est pas possible pour ce qui concerne la soudure entre la branche interne de la pièce de jonction forgée et l'extrémité de la conduite interne, au moins par une des deux pièces de jonction pour laquelle la soudure est alors réalisée depuis l'intérieur de ladite conduite interne, comme il sera explicité ci-après. Or, cette opération de soudure, depuis l'intérieur de la conduite
30 interne, est délicate et complexe à réaliser ainsi que le contrôle ultérieur de la soudure. On comprend, en effet, qu'en procédant depuis l'intérieur, un

opérateur a de grandes difficultés de se positionner avec précision, aussi bien la torche de soudure que le dispositif de contrôle.

Comme rappelé précédemment, les zones de soudage sont particulièrement sensibles au phénomène de fatigue, tant durant la pose que pendant la durée de vie de la conduite, c'est pourquoi il est important de pouvoir en contrôler soigneusement la fiabilité.

Pour pouvoir réaliser une soudure de la branche interne de la pièce de jonction forgée avec l'extrémité de la conduite interne, et ce depuis l'extérieur de la conduite interne, et ce aux deux extrémités d'un élément unitaire de conduite coaxiale, une solution est de réaliser des pièces de jonction en plusieurs parties et/ou d'intercaler des pièces rapportées, notamment des demi manchons tubulaires formant deux demi coquilles tubulaires intercalées entre les extrémités de la branche externe d'une pièce de jonction forgée et l'extrémité de la conduite externe correspondante, comme illustré sur la figure 1C. Ces demi coquilles sont rapportées par soudage entre les extrémités de la branche externe de la pièce de jonction forgée et de la conduite externe, et elles sont mises en place après réalisation de la soudure depuis l'extérieur de la conduite interne, entre l'extrémité de la branche interne de la pièce de jonction forgée et l'extrémité de la conduite interne.

Mais, ces pièces de jonction complexes et/ou associées à des éléments complémentaires de type coquilles, affectent la fiabilité mécanique de la pièce de jonction elle-même et, donc, de la jonction entre la pièce de jonction et la conduite. Une des raisons tient en ce qu'il est nécessaire de mettre en œuvre des soudures dans la direction longitudinale de la conduite pour souder entre elles les deux demi manchons tubulaires, alors que ce type de soudure longitudinale est moins fiable que les soudures circulaires et, de surcroît, implique des croisements de soudure entre les soudures circulaires, assurant le raccordement entre les manchons tubulaires et les pièces de jonction forgées ou les extrémités de conduites coaxiales, et les soudures longitudinales assurant le raccordement entre les deux demi manchons tubulaire rapportés, lesdits croisements de soudure constituant des points de faiblesse supplémentaires.

On connaît aussi des systèmes dans lesquels la pièce de jonction est réalisée en deux éléments vissés et collés entre eux, mais ce type de réalisation de pièces de jonction présente également des lacunes dans la fiabilité mécanique.

5 On connaît aussi, dans FR 2 751 721, un mode de réalisation des extrémités d'un PiP, assorti d'un mode de renfort de la zone de raccordement entre deux longueurs unitaires de PiP par un manchon coulissant à jeu réduit sur l'enveloppe externe, ledit manchon coulissant étant solidarisé à ladite
10 enveloppe externe par collage. Cette disposition permet d'augmenter localement l'inertie de la section transversale pour limiter les contraintes dans la zone de raccordement entre deux longueurs unitaires de PiP, mais nécessite la fabrication de plusieurs pièces mécaniques compliquées à monter et nécessite un raccordement relativement difficile à mettre en œuvre. De plus le collage proposé reste sujet à fluage et se dégrade lors des cycles thermiques
15 dont sont sujet les conduites au cours de leur durée de vie de 20 à 30ans. Enfin, ce type de collage ne pourrait pas être envisagé de manière fiable dans le cas de liaisons fond surface, car les effets dynamiques de la houle et du courant sur la conduite en suspension entre le fond de la mer et le support flottant, dégraderaient rapidement le plan de collage induisant une fatigue
20 rapide et excessive sur la zone de raccordement du PiP.

Ainsi le problème posé est de réaliser un raccordement de longueur unitaire d'ensemble de conduites coaxiales de type PiP amélioré de manière à faciliter la mise en œuvre des moyens de raccordement et opérations de
25 raccordement, notamment moyens et opérations de soudage, et dont les zones de raccordement, notamment zones de soudage entre pièces de jonction et longueurs unitaires de conduites puissent être réalisées, de manière à ce que les contraintes engendrées lors de la pose soient minimisées et que le comportement en fatigue, dans le cas des liaisons fond-surface soit radicalement amélioré.

30 Plus particulièrement, un problème à la base de l'invention est donc de fournir un procédé de fabrication amélioré d'un élément de conduites coaxiales comportant, à chaque extrémité, une pièce de jonction forgée

composée d'une unique pièce forgée comprenant deux branches de révolution externe et interne assemblées directement aux extrémités respectives des conduites externe et interne.

Pour ce faire, la présente invention fournit un procédé de fabrication d'un élément de conduites coaxiales comprenant une conduite interne et une conduite externe et comportant à chacune de ses extrémités une pièce de jonction forgée de révolution, chaque dite pièce de jonction forgée comportant au moins deux premières branches de révolution, dont une première branche interne et une première branche externe, l'extrémité cylindrique de ladite première branche externe étant en retrait d'une longueur L_1 par rapport à l'extrémité cylindrique de ladite première branche interne.

Dans le procédé selon la présente invention, on réalise les étapes successives suivantes dans lesquelles :

1/ on soude l'extrémité cylindrique de ladite première branche interne d'une première pièce de jonction, avec une première extrémité de ladite conduite interne non recouverte par la conduite externe, la soudure étant réalisée depuis l'extérieure de ladite conduite interne, et

2/ on déplace ladite conduite externe co-axialement autour de ladite conduite interne, de manière à ce qu'une première extrémité de ladite conduite externe arrive bout à bout avec l'extrémité cylindrique correspondante de la première branche externe de ladite première pièce de jonction, la seconde extrémité de ladite conduite interne étant en retrait par rapport à la seconde extrémité correspondante de ladite conduite externe d'une longueur L_3 au moins égale à L_1 , et

3/ on soude l'extrémité de ladite première branche externe de ladite première pièce de jonction forgée avec l'extrémité de ladite conduite externe, depuis l'extérieur de ladite conduite externe.

Puis, selon la présente invention, le procédé est caractérisé en ce que l'on réalise les étapes ultérieures successives suivantes dans lesquelles :

4/ on expande de manière réversible, dans la direction longitudinale axiale XX', ladite seconde extrémité de ladite conduite interne, de manière à ce que celle-ci dépasse d'une longueur L_2 par rapport à ladite seconde extrémité correspondante de ladite conduite externe, et

- 5 5/ on soude depuis l'extérieur de ladite conduite interne, l'extrémité de la première branche interne d'une deuxième dite pièce forgée avec ladite seconde extrémité de ladite conduite interne en position expansée, et

- 6/ on résorbe l'expansion de ladite conduite interne jusqu'à ce que ladite seconde extrémité de la première branche externe de ladite deuxième
10 pièce forgée arrive bout à bout avec ladite seconde extrémité de la conduite externe et

7/ on soude depuis l'extérieur de ladite conduite externe, l'extrémité de ladite première branche externe de ladite deuxième pièce forgée avec ladite seconde extrémité de ladite conduite externe.

- 15 On comprend que, à l'étape 4, on réalise une expansion de ladite conduite interne d'une longueur L_2+L_3 telle que la distance $L=L_1+L_2$ entre l'extrémité libre de ladite première branche externe de la deuxième pièce forgée et l'extrémité de ladite conduite interne soit suffisante pour permettre, depuis l'extérieur de la conduite interne, la réalisation de la soudure de
20 l'extrémité cylindrique libre de la première branche interne de la deuxième pièce forgée avec l'extrémité de la conduite interne. En pratique, cette distance $L=L_1+L_2$ doit être au moins égale à 5 cm (ce qui correspond à la taille de la torche de soudure) et, de préférence, au moins 10 cm lorsque l'on utilise un matériel pour mouvoir en rotation la torche de soudure autour de
25 ladite conduite à souder, comme il sera explicité ci-après.

- On comprend donc, également, qu'au repos, lorsque les deux conduites externe et interne sont à même température sans traction et sans compression, l'extrémité de la conduite externe dépasse de l'extrémité de la conduite interne d'une longueur L_3 au moins égale au différentiel de longueur
30 L_1 entre lesdites premières branches interne et externe desdites pièces forgées, ceci afin que, après résorption de l'expansion (étape 6), l'extrémité

de ladite première branche externe arrive en contact bout à bout avec l'extrémité de ladite conduite externe.

Selon une première variante de réalisation du procédé de fabrication d'un élément de conduites coaxiales selon l'invention, à l'étape 4/, on réalise
5 l'expansion de ladite conduite interne par chauffage de celle-ci, de préférence à l'aide de dispositifs de chauffage que l'on introduit et, de préférence que l'on déplace à l'intérieur de ladite conduite interne et que l'on fait agir de manière uniforme ou non le long de ladite conduite, à l'intérieur de celle-ci. On comprend que la résorption de l'expansion de l'étape 4/, se fait alors par
10 simple refroidissement.

Dans un second mode de réalisation, à l'étape 4/, on réalise ladite expansion par traction longitudinale XX' mécanique de ladite conduite interne à l'aide d'un dispositif de traction comprenant un treuil ou un vérin disposé à l'extérieur de ladite conduite interne. On comprend que la résorption de
15 l'expansion se fait par relâchement de ladite traction.

Il est également intéressant de pouvoir combiner les deux modes d'expansion, comme explicité plus loin.

Plus particulièrement, à l'étape 4/, ladite expansion se fait par traction longitudinale de ladite conduite interne et compression longitudinale
20 simultanée de ladite conduite externe au niveau de leurs dites secondes extrémités. Cette compression longitudinale est due à la mise en œuvre de moyens de blocage de la conduite externe comme explicité plus loin.

La présente invention fournit également un élément de conduites coaxiales comprenant une conduite interne et une conduite externe avec un
25 espace annulaire, de préférence rempli d'un matériau d'isolation, de préférence encore maintenu sous vide poussé, et à chaque extrémité une pièce de fermeture étanche dudit espace annulaire constituée chacune par une pièce de jonction de révolution forgée constituée chacune d'un seul bloc, destinée à la jonction de deux dits éléments de conduites coaxiales bout à bout, chaque
30 dite pièce de jonction comportant au moins deux premières branches de révolution dont une première branche de révolution interne soudée

directement à une extrémité de ladite conduite interne avec un cordon de soudure circulaire et une première branche externe soudée directement à l'extrémité de ladite conduite externe avec un cordon de soudure circulaire, lesdites premières branches internes de révolution étant plus longues par
5 rapport aux dites premières branches externes d'une longueur L_1 dans la direction longitudinale axiale XX' dudit élément de conduites coaxiales, chaque dite pièce de jonction à chaque extrémité dudit élément de conduite étant destinée à être assemblée, d'un côté aux extrémités desdites conduites
10 externe et interne dudit élément de conduite coaxiale, et du côté opposé, directement à une autre dite pièce de jonction, elle-même assemblée par soudage à l'extrémité d'un autre élément unitaire de conduite coaxiale, caractérisé en ce que tous lesdits cordons de soudure circulaires sont déposés du coté extérieur des conduites interne et externe.

On entend ici par "pièce de jonction constituée d'un seul bloc", une
15 pièce de jonction forgée constituée d'un seul tenant et non pas de plusieurs parties assemblées.

D'autre part, on entend ici par "soudées directement", le fait que les extrémités desdites conduites internes et externes et de la pièce forgée sont assemblées l'une à l'autre sans pièce ou élément intermédiaire intercalé.

20 Enfin, on entend par "cordon de soudure déposé du coté extérieur", que ledit cordon de soudure est réalisé sur la surface externe des conduites interne et respectivement externe le cas échéant.

Dans un mode préféré de réalisation du procédé selon l'invention :

- à l'étape 2/, ladite seconde extrémité de la conduite externe du coté
25 destiné à être raccordé à ladite deuxième pièce de jonction forgée (2a), est ajustée de manière à dépasser de ladite seconde extrémité correspondante de la conduite interne d'une longueur $L_3 = L_1 + e$, et

- à l'étape 4/, on réalise une expansion de ladite conduite interne d'une longueur L_2 supérieure ou égale à $L_1 + e$, de sorte que, à l'issue du soudage de

l'étape 7/, ladite conduite interne se trouve soumise à une traction correspondant à un allongement résiduel inférieur ou égal à e .

En pratique e représente de 5 à 100 mm pour un élément de conduite interne de 25 à 50 m.

5 On comprend que cet allongement résiduel est dû au fait que l'extrémité de ladite première branche interne de la deuxième pièce forgée dépassant d'une longueur L_1 par rapport à l'extrémité de ladite première
branche externe de ladite deuxième pièce forgée, à l'issue de l'étape 6/, l'extrémité de ladite conduite interne ne peut reculer que d'une longueur
10 L_1 . Et, à l'issue de l'étape 7/, l'allongement résiduel de ladite conduite interne est inférieur ou égal à e selon les cas suivants :

- l'allongement résiduel de la conduite interne est sensiblement égal à e dans le cas où l'expansion de la conduite interne a été obtenue par traction directe sur la conduite interne, induisant de manière concomitante une
15 contrainte de compression dans l'enveloppe externe;

- l'allongement résiduel de la conduite interne représente un pourcentage R_{th} de e , dans le cas où l'expansion est obtenue par effet thermique, compte tenu que, lors du refroidissement de la conduite interne après soudure, la traction exercée par ladite conduite interne sur la pièce
20 forgée provoque concomitamment une compression longitudinale de ladite conduite externe au niveau de sa seconde extrémité, ce qui a pour effet de raccourcir la longueur de la rame, réduisant d'autant la contrainte de traction dans la conduite interne. Ledit pourcentage R_{th} est fonction du rapport des surfaces des sections transversales d'acier de la conduite interne et de
25 l'enveloppe externe;

- l'allongement résiduel de la conduite interne représente un pourcentage R_{mixte} de e , dans le cas où l'expansion est obtenue de manière mixte par traction mécanique et par effet thermique, R_{mixte} étant compris entre 100% et R_{th} .

30 Ce mode de réalisation avec une conduite interne sous contrainte de traction est particulièrement avantageux car, lorsque la conduite coaxiale est en service en cours d'utilisation au fond de la mer et que la température du

fluide la traversant atteint des températures hautes (120-150°C), l'augmentation de température provoque une expansion de la conduite interne relativement à la conduite externe qui reste en contact de la température du fond de la mer (3-5°C), ce qui provoque une compression de ladite conduite interne, cette dernière étant bloquée à ses extrémités au niveau desdites pièces de jonction forgées. Cette mise en compression est traditionnellement jugulée par la mise en place d'éléments centraliseurs entre lesdites conduites interne et externe qui sont d'un coût élevé, difficiles à installer et créent des ponts thermiques qui réduisent d'autant l'efficacité du système d'isolation. Ainsi, la traction résiduelle de la conduite interne au cours du procédé de fabrication selon l'invention, permet de réduire d'autant la contrainte de compression de la conduite interne lorsque celle-ci est en service et, donc, d'augmenter l'espacement des éléments centraliseurs avantageusement et donc réduire leur nombre.

La présente invention fournit également un élément de conduites coaxiales tel que défini ci-dessus, caractérisé en ce que ladite conduite interne est soumise à une contrainte de traction exercée par chaque dite pièce de jonction à chaque extrémité, lorsque ledit élément de conduite coaxiale est hors service.

On entend par "hors service", que ledit élément de conduites coaxiales n'est pas assemblé dans un ensemble d'éléments de conduites coaxiales et/ou n'est pas manipulé, ou est assemblé dans un ensemble d'éléments de conduites coaxiales, mais ledit ensemble n'est pas manipulé et/ou n'est pas parcouru par un fluide à transporter. Une telle situation se produit en fin de processus de fabrication à terre, pendant le transport et l'installation lorsque l'élément de conduite ou la conduite est à température ambiante jusqu'à ce que la conduite repose sur le fond de la mer, à la température dudit fond de la mer, en attente du démarrage de la production, et, enfin, en cas d'arrêt prolongé de la production, les conduites interne et enveloppe externe étant alors stabilisées à la température de l'eau de mer (3-5°C). On entend par «élément de conduite ou conduite à température ambiante» que les dites conduites interne et externe sont à la même température que la température

environnante de l'air ou de l'eau de mer le cas échéant si la conduite est immergée.

On comprend que ladite contrainte de traction est due audit allongement résiduel de la conduite interne par rapport à sa longueur au
5 repos après résorption partielle de ladite expansion à l'étape 6 et après le soudage de l'étape 7. On entend ici par « repos » que ladite conduite interne n'est soumise à aucune traction ou compression, comme c'est le cas lorsqu'elle est hors service et en l'absence de pièce de jonction.

On comprend donc que ladite contrainte de traction exercée par
10 lesdites pièces de jonction s'exerce en sens opposé à chaque extrémité de l'élément unitaire de conduite.

Selon la présente invention, la présence d'une pièce de jonction de fermeture à chaque extrémité de l'élément unitaire de conduite permet aussi d'assembler les pièces de jonction à terre en établissant un vide poussé ou en
15 confinant un matériau d'isolation dans l'espace annulaire entre les conduites interne et externe, ce qui serait difficile à réaliser à bord du navire.

Avantageusement, ladite conduite interne est soumise à une traction correspondant à une contrainte de traction inférieure à 90%, de préférence de 5 à 75% de la limite élastique de l'acier constituant ladite conduite interne,
20 lorsque ledit élément de conduites coaxiales est hors service, c'est-à-dire notamment à température ambiante.

Plus particulièrement et en pratique, cette contrainte de traction correspond à la traction à exercer sur une dite conduite interne de 25 à 50 m pour lui faire subir un allongement de 5 à 100 mm.

25 Cette contrainte de traction de la conduite interne peut être détectée et mesurée par des procédés et moyens connus, soit de type non destructif, soit de type semi-destructif.

Des procédés et moyens pour détecter une contrainte de traction consistent par exemple :

- à installer sur la conduite externe des jauges de contraintes parallèlement à l'axe XX du PiP et de manière circulaire perpendiculairement à ce même axe,

- 5 - puis à percer à proximité desdites jauges un trou de faible diamètre, par exemple 4mm, sur 75% à 80% de l'épaisseur de la conduite, de manière à ne pas perforer cette dernière.

En l'absence de précontrainte, aucune modification de l'état des jauges ne sera mise en évidence. En cas de précontrainte de la conduite intérieure, il se produira dans la zone du trou un relâchement de contraintes de compression existant dans l'enveloppe externe, induisant des allongements localisés, parallèlement à l'axe du PiP, allongements mis en évidence au niveau desdites jauges de contraintes longitudinales et circulaires. En connaissant les valeurs d'élongation obtenues dans la zone du trou, un calcul en éléments finis avec maillage fin, connu de l'homme de l'art, permet de
10 déterminer l'ordre de grandeur des contraintes de compression de ladite
15 enveloppe externe, donc d'en déduire l'ordre de grandeur de la contrainte de traction au sein de la conduite intérieure.

Il existe d'autres moyens non destructifs basés soit sur un bombardement de neutrons rapides, dont la trajectoire se trouve modifiée
20 selon que ladite conduite est soumise à une contrainte de traction ou de compression. Cette méthode est très délicate à mettre en œuvre, mais est utilisée de manière courante pour mettre en évidence l'état de relaxation des contraintes dans certaines pièces mécaniques sensibles utilisées principalement en aéronautique ou dans l'industrie spatiale.

25 Il résulte de cette traction de la conduite interne que, lorsque l'on désolidarise les extrémités de l'élément de conduites coaxiales de l'une au moins des dites pièces de jonction forgées soudées à ces extrémités, on observe un raccourcissement de ladite conduite interne.

En pratique, on observe un raccourcissement de la conduite interne de
30 5 à 100 mm pour un élément de conduite interne de 25 à 50 m.

D'autre part, comme mentionné précédemment, on observe en général également une compression de la conduite externe, mais d'une valeur moindre.

Plus particulièrement, ledit élément de conduites coaxiales est destiné à
5 l'assemblage de conduites sous-marines en acier et présente une longueur de 10 à 100 m, de préférence de 20 à 50 m.

Selon d'autres caractéristiques avantageuses :

- lesdites premières branches interne et externe desdites pièces forgées de révolution sont sensiblement de même épaisseur respectivement que
10 lesdites conduites interne et externe à leurs extrémités;

- le matériau isolant est un matériaux microporeux ou nanoporeux, de préférence un aérogel, se présentant, de préférence encore, sous forme de grains de 0,5 à 5 mm de diamètre.

Avantageusement, on réalise lesdits soudages avec un dispositif
15 comprenant une tête de soudage fixe, de préférence à la verticale au-dessus dudit élément de conduites, et on fait tourner ledit élément de conduites sur lui-même autour de son axe longitudinal XX', de préférence à l'aide de roulettes ou de vireurs motorisés sur lesquels repose ladite conduite externe.

Avantageusement encore, on réalise l'expansion avec un ~~ledit~~
20 dispositif de traction qui comprend ou coopère avec :

- des moyens de blocage de ladite conduite interne, permettant ainsi une translation longitudinale de ladite conduite interne en expansion lorsque le dispositif de traction est actionné, et autorisant la rotation de ladite conduite interne autour de son axe longitudinal XX' le cas échéant, et

25 - des moyens de blocage de ladite conduite externe, empêchant tout mouvement de translation longitudinale de ladite conduite externe, et autorisant sa rotation autour de son axe longitudinal XX'.

Plus particulièrement, lesdits moyens de blocage de la conduite externe, comprennent :

- un premier dispositif de blocage par compression radiale disposé fixement autour de ladite conduite externe tel qu'un collier à coins bloquant, et

5 - un premier corps périphérique fixe par rapport au sol, coopérant avec ledit premier dispositif de blocage par l'intermédiaire d'un premier palier autorisant la rotation de ladite conduite externe selon son axe longitudinal XX'.

10 Plus particulièrement encore, ledit premier palier comprend des roulements à rouleaux croisés, dans et entre une cage intérieure solidaire dudit collier, et une cage extérieure solidaire dudit premier corps périphérique fixe.

15 Dans un mode préféré de réalisation, ledit dispositif de traction comprend ou coopère avec au moins un tirant, constitué d'un câble ou d'une tige rigide, apte à être déplacé en translation longitudinale XX' par treuil ou un vérin, relié à un deuxième dispositif de blocage de ladite conduite interne par compression radiale de la paroi interne de ladite conduite interne, disposé à l'intérieur de ladite conduite interne, tel qu'un mandrin autobloquant.

20 Plus particulièrement, ledit dispositif de traction comprend au moins deux vérins diamétralement opposés, de préférence au moins quatre vérins régulièrement répartis circulairement, dont les pistons solidaires de tiges viennent en butée avec ledit premier corps périphérique fixe support dudit premier palier, lesdits vérins étant reliés au dit tirant par l'intermédiaire d'un second palier, constitué de préférence d'un roulement à rouleaux croisés, comportant un second corps périphérique fixe par rapport au sol supportant
25 lesdits vérins, apte à coopérer avec un support solidaire dudit tirant, de sorte qu'en appliquant aux vérins une pression P, le tirant exerce une traction sur la conduite interne, tout en autorisant la rotation dudit élément de conduites autour de son axe longitudinal XX', lesdits premier et second corps périphériques ainsi que les tiges des vérins restant fixes par rapport au sol,
30 autorisant ainsi l'utilisation d'une tête de soudage fixe.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lumière de la description détaillée qui va suivre, en référence aux figures suivantes dans lesquelles :

les figures 1A et 1B représentent en coupe longitudinale en vue de côté
5 une rame de type PiP remplie d'un matériau isolant sous pression réduite de gaz et équipée à ses extrémités, respectivement gauche (fig. 1A) et droite (fig. 1B), de pièces forgées de jonction selon l'art antérieur,

la figure 1C représente une variante de réalisation, dans laquelle on intercale des demi manchons tubulaires entre les extrémités des branches
10 externes de la pièce forgée et l'extrémité de la conduite externe,

la figure 2A représente en coupe longitudinale en vue de côté, l'extrémité droite d'une rame de type PiP selon l'invention, illustrant l'expansion longitudinale transitoire selon l'axe XX' de la conduite interne sur une longueur $L_3 + L_2$, ladite conduite interne étant initialement en retrait
15 d'une longueur L_3 par rapport à la conduite externe, de manière à pouvoir effectuer la soudure de ladite conduite interne sur la pièce forgée d'extrémité, depuis l'extérieur,

la figure 2B est une coupe identique à la coupe de la figure 2A, après résorption de l'expansion de ladite conduite interne, la pièce forgée
20 d'extrémité venant alors en contact avec la conduite externe et autorisant de ce fait la réalisation de la soudure externe depuis l'extérieur,

la figure 3A représente en coupe longitudinale en vue de côté une rame de type PiP selon l'invention, dans laquelle l'expansion de la conduite interne est réalisée par chauffage de ladite conduite interne au moyen de trois
25 cartouches chauffantes électriques réparties le long de ladite conduite interne,

la figure 3B illustre un autre mode de chauffage à l'aide d'un brûleur à gaz ou à fuel, ou encore un générateur d'air chaud,

la figure 3C illustre un autre mode d'expansion de la conduite interne basé sur la traction de l'extrémité de ladite conduite interne au moyen d'un treuil et d'un câble relié à un dispositif de blocage installé à proximité de
30 l'extrémité de ladite conduite interne,

la figure 4A illustre le mode de soudage de la pièce forgée d'extrémité sur la conduite interne du PiP de la figure 3A, l'ensemble du PiP étant mis en rotation pour effectuer ledit soudage à l'aide d'une tête de soudage fixe,

5 la figure 4B illustre le mode de soudage de la pièce forgée d'extrémité sur la conduite extérieure du PiP après rétractation de la conduite interne par simple refroidissement, l'ensemble du PiP étant mis en rotation pour effectuer ledit soudage à l'aide d'une tête de soudage fixe,

la figure 4C illustre le mode de soudage de la pièce forgée d'extrémité sur la conduite interne du PiP de la figure 3C, l'ensemble du PiP étant mis en rotation pour effectuer ledit soudage à l'aide d'une tête de soudage fixe,

la figure 4D illustre le mode de soudage de la pièce forgée d'extrémité sur la conduite interne du PiP, avec un dispositif de traction comprenant des vérins hydrauliques, l'ensemble du PiP étant mis en rotation pour effectuer ledit soudage à l'aide d'une tête de soudage fixe,

15 la figure 4E est une vue en coupe selon AA de la figure 4A,

la figure 4F est une vue en coupe selon BB de la figure 4D,

les figures 5A et 5B représentent en coupe longitudinale en vue de côté, l'extrémité droite d'une rame de type PiP selon l'invention, respectivement au repos avant assemblage, et en expansion pour effectuer la soudure de la conduite interne sur la pièce forgée d'extrémité, ladite conduite interne se trouvant soumise à une traction après soudage sur ladite pièce de jonction forgée d'extrémité.

Dans les figures 1 à 5, on a représenté une conduite 1 de type PiP constituée d'une conduite externe 1a et d'une conduite interne 1b solidarisées par soudures à une première pièce de jonction forgée 2a située sur la gauche de la figure 1A et à une seconde pièce de jonction forgée 2b située sur la droite de la figure 1B, l'espace annulaire 1d entre les deux dites conduites interne et externe, étant rempli d'un matériau isolant 1e. Des éléments centraliseurs 1c sont répartis, de manière espacée de préférence régulière, autour de la circonférence et le long de la longueur de la conduite interne. Ces centraliseurs maintiennent la distance radiale entre les conduites interne

et externe et donc l'épaisseur dudit espace annulaire à une valeur sensiblement constante.

Lesdites pièces de jonction 2a, 2b sont délimitées comme suit :

5 dans une direction radiale par rapport à un axe longitudinal XX' de révolution de ladite pièce, elle est délimitée par une paroi interne cylindrique 2₂ sensiblement de même diamètre que celui de la partie courante de ladite conduite interne 1b, et par une paroi externe 2₁ cylindrique de diamètre sensiblement égal au diamètre externe de la partie courante de ladite conduite externe 1a, et

10 dans la direction axiale longitudinale XX',

- du côté de ladite pièce de jonction destinée à être assemblée par soudage à l'extrémité desdites conduites externe et interne d'un dit élément de conduites coaxiales, lesdites parois externe 2₁ et interne 2₂ de ladite pièce de jonction forment en section longitudinale des premières 15 branches respectivement externe 3₁ et interne 3₂ sensiblement de même épaisseur que lesdites conduites externe 1a et interne 1b auxquelles elles sont destinées à être assemblées, lesdites premières branches externe 3₁ et interne (3₂) délimitant une première cavité annulaire 4₁ et

- du côté opposé de ladite pièce de jonction destinée à être 20 assemblée à une autre dite pièce de jonction, elle-même assemblée par soudage à l'extrémité d'un autre élément d'ensemble de conduites coaxiales, lesdites parois externe 2₁ et interne 2₂ forment en section longitudinale des deuxièmes branches respectivement externe 5₁ et interne 5₂, délimitant une deuxième cavité annulaire 6₁,

- les fonds desdites première et deuxième cavités 4₁, 6₁ étant 25 espacés dans ladite direction longitudinale XX', de manière à délimiter une zone pleine de ladite pièce de jonction dans laquelle lesdites parois externe 3₁ et interne 3₂ forment les faces externe et interne d'une même paroi cylindrique.

30 La première cavité annulaire 4₁ est ouverte sur l'espace annulaire 1d et peut recevoir le matériel d'isolation 1e de façon à continuer l'isolation de la conduite le plus loin possible.

Après assemblage et raccordement de deux longueurs unitaires de PiP équipées de pièces de jonction forgées, la deuxième cavité annulaire 6₁ d'une première pièce de jonction 2a à l'extrémité aval d'une première longueur de PiP 1 est ouverte sur une deuxième cavité annulaire d'une deuxième pièce de jonction 2a à l'extrémité amont d'une deuxième longueur de PiP formant ainsi une chambre formée par soudage au niveau des extrémités des deuxièmes branches externes 5₁. Mais cette chambre n'est pas étanche, car l'extrémité des deuxièmes branches internes 5₁ des deux pièces de jonction n'est pas soudée, les faces desdites branches étant simplement en contact l'une avec l'autre.

Plus particulièrement, dans les pièces de jonction forgées :

- l'extrémité libre de ladite deuxième branche externe 5₁ présente une forme, de préférence un chanfrein 18, la rendant apte à être soudée, depuis l'extérieur de la conduite, à l'extrémité libre d'une autre dite deuxième branche externe d'une autre pièce de jonction à laquelle elle est destinée à être assemblée, ladite autre pièce de jonction étant, elle-même, assemblée à l'extrémité d'un deuxième dit élément d'ensemble de deux conduites coaxiales, et

- l'extrémité libre de ladite deuxième branche interne 5₂ présente une forme la destinant à buter en contact sans lui être soudée avec l'extrémité libre d'une autre dite deuxième branche interne d'une autre dite pièce de jonction assemblée à l'extrémité d'un dit deuxième élément d'ensemble de conduites coaxiales, et

- les extrémités libres des dites deuxièmes branche externe 5₁ et branche interne 5₂ d'une même pièce de jonction arrivent sensiblement au même niveau dans ladite direction longitudinale XX', et

- les deux dites deuxièmes branches externes des deux dites pièces de jonction destinées à être assemblées par soudure étant de même épaisseur, supérieure à l'épaisseur de ladite conduite externe, et de préférence supérieure à l'épaisseur de ladite deuxième branche interne de ladite pièce de jonction.

Les extrémités libres desdites premières branches externes 3_1 et interne 3_2 présentent une forme, en chanfrein 18, ce qui permet d'effectuer de manière connue une première passe de soudage dite « de pleine pénétration », suivie d'un remplissage complet du chanfrein. Sur la figure 1A, les chanfreins 18 sont tournés vers l'extérieur et sont donc aptes à être soudés depuis l'extérieur desdites conduites externe 3_1 et interne 3_2 . Sur la figure 1B, les chanfreins 18 sont tournés vers l'extérieur à l'extrémité de ladite première branche externe et vers l'intérieur à l'extrémité de ladite première branche interne, les rendant aptes à être soudés respectivement depuis l'extérieur dudit ensemble pour lesdites premières branches externes et depuis l'intérieur de ladite conduite interne pour lesdites premières branches internes.

La formation desdites première et deuxième cavités annulaires permet d'une part d'établir une continuité au niveau du diamètre interne de la conduite interne et d'autre part de fournir une relative continuité et identité d'inertie de la section transversale, de la zone courante du PiP et de la zone de raccordement, l'épaisseur de la branche externe de la pièce de jonction forgée étant sensiblement égale ou légèrement supérieure à l'épaisseur courante de la conduite externe.

L'éloignement des extrémités desdites premières branches externe et interne par rapport au fond de la première cavité et de l'extrémité de ladite deuxième branche externe par rapport au fond de ladite deuxième cavité, permet de réaliser les soudages dans les meilleures conditions, car la masse d'acier de part et d'autre de la zone de soudage est sensiblement égale et la zone de fusion ne se trouve alors pas perturbée par un « effet radiateur » provoqué par la zone pleine et massive située entre les fonds desdites première et deuxième cavités, ladite perturbation consistant en un refroidissement déséquilibré entre la gauche et la droite de ladite zone de soudure.

Enfin, la continuité du diamètre de la paroi externe au niveau de la dite pièce de jonction par rapport à celui des parties courantes des conduites externes permet de créer une augmentation importante de l'inertie de la section transversale au niveau de la zone de raccordement de deux pièces de

jonction adjacentes, et donc de renforcer le raccordement là où précisément les contraintes sont maximales. En effet, l'inertie de la section transversale d'une conduite par rapport à son centre varie comme la puissance 4 du rayon. En conséquence, si la section transversale considérée correspond à celle de la
5 conduite externe du PiP, l'épaisseur nécessaire est fortement réduite, voire même dans certains cas divisée par deux, ce qui simplifie considérablement les opérations d'assemblage par soudage effectuées à bord des navires d'installation, dans des conditions difficiles.

D'autre part, le fait que deux pièces de jonction adjacentes soient
10 soudées, uniquement au niveau de l'extrémité desdites deuxièmes branches externes, permet que la totalité des phénomènes de transferts de charge et de contraintes soit localisée au niveau externe et n'implique pas lesdites parois internes, ce qui permet de mieux contrôler les risques de fissuration ou phénomènes de fatigue et d'éviter que le dispositif ne se ruine complètement
15 au niveau de la paroi interne.

En outre, le fait que les deux extrémités desdites deuxièmes branches internes de deux pièces de jonction adjacentes, ne soient pas soudées entre elles, autorise des mouvements infimes desdites parois internes face à face dus à des éventuelles flexions ou variations de pression ou de température et
20 autorise que lesdites parois internes puissent se déformer plastiquement et permettre un matage desdites deuxièmes branches internes sans risquer de transférer des charges de compression de contact, ce qui permet d'éviter de perturber la répartition des contraintes dans la zone d'assemblage et que l'essentiel des contraintes soit repris au niveau des parois externes desdites
25 pièces.

La formation de ladite paroi interne cylindrique qui assure une continuité presque complète avec la conduite interne, permet d'éviter des phénomènes de turbulence du type vortex dans la circulation du fluide à l'intérieur du dispositif après assemblage, au niveau du raccordement de deux
30 dites pièces de jonction de deux portions de PIP adjacentes.

On notera que ladite deuxième cavité ne doit pas être étanche après raccordement de deux pièces de jonction, vis-à-vis de l'intérieur de ladite paroi interne et de ladite conduite interne car lors du démarrage de la circulation d'un fluide à l'intérieur, celui-ci devra migrer vers cette deuxième cavité, l'étanchéité étant assurée par la soudure externe au niveau de l'extrémité desdites deuxième branches externes, le fluide se trouvant piégé durant toute la durée de vie de l'installation au niveau de cette deuxième cavité.

Toutes ces caractéristiques contribuent à améliorer radicalement le comportement en flexion, ainsi qu'en fatigue, d'un dispositif impliquant deux éléments d'ensemble coaxial équipés de dites pièces de jonction raccordées l'une à l'autre, à bord des navires d'installation, et dans le cas de liaisons fond-surface, durant toute leur durée de vie qui peut excéder 30 ans.

Par ailleurs, la fabrication et l'assemblage desdites pièces de jonction sont relativement aisés et fiables en ce qui concerne le raccordement de deux pièces de jonction adjacentes et le raccordement d'une pièce de jonction avec l'extrémité d'un ensemble d'au moins deux conduites coaxiales.

Dans les figures 1A et 1B, on a représenté en coupe longitudinale en vue de côté une rame 1 de type PiP remplie d'un matériau isolant 1e sous pression réduite de gaz et équipée à ses extrémités, respectivement gauche et droite, d'une première pièce de jonction forgée 2a et d'une seconde pièce de jonction forgée 2b, assemblées selon l'art antérieur. L'assemblage est effectué par soudage selon la séquence suivante. La conduite interne 1b est soudée en premier sur la branche interne 3₁ de la première pièce de jonction forgée d'extrémité avec un cordon de soudure 1b₁ réalisé depuis l'extérieur de la conduite interne, comme représenté sur la figure 1A. Puis, l'enveloppe externe 1a est insérée autour de la conduite interne 1b et maintenue de manière concentrique grâce à des centraliseurs 1c répartis le long de la rame de manière régulière ou non. Ladite enveloppe externe est alors soudée par un cordon de soudure 1a₁ réalisé depuis l'extérieur de ladite conduite externe sur la branche externe 3₁ de ladite première pièce de jonction forgée 2a. Ces deux soudures sont réalisées depuis l'extérieur de manière connue.

Pour la clarté des figures, les cordons de soudure sont en général représentés seulement sur la partie basse de la figure, les éléments à souder étant représentés face-à-face en partie haute, prêts à être soudés.

La seconde extrémité nécessite un mode particulier de soudage, car les
5 deux conduites sont en position finale coaxiale avec l'extrémité de la conduite externe qui recouvre l'extrémité correspondante de la conduite interne d'une longueur L_3 . Lors de la mise en place de ladite seconde pièce forgée 2b, il est alors nécessaire de réaliser la soudure de ladite seconde pièce forgée 2b sur la conduite interne 1b avec une soudure 1b₂ réalisée depuis l'intérieur de ladite
10 conduite interne, ce qui est très délicat et nécessite des moyens compliqués de contrôle, car les soudeurs n'ont pas une vision directe du bain de soudure en raison du confinement à l'intérieur de la conduite. La soudure de la seconde pièce forgée 2b sur l'enveloppe externe 1a est réalisée de manière conventionnelle en 1a₁ depuis l'extérieur.

15 Sur la figure 1C, on a représenté une variante de réalisation selon la technique antérieure, permettant de réaliser toutes les soudures entre les pièces de jonction 2a, 2b et les conduites interne et externe depuis l'extérieur desdites conduites. Pour ce faire, pour la mise en place de la deuxième pièce forgée 2b, on fait dépasser vers l'extérieur l'extrémité de la conduite interne
20 par rapport à celle de la conduite externe, ce qui permet de réaliser une soudure de la conduite interne sur ladite pièce de jonction forgée, depuis l'extérieur de la conduite interne. Puis, on intercale, entre l'extrémité de la branche externe 3₁ de la pièce de jonction et l'extrémité correspondante de la conduite externe, deux demi coquilles 14 en forme de demi manchons
25 tubulaires. Mais, ce mode de réalisation n'est pas satisfaisant car il affecte la fiabilité mécanique de la jonction entre la deuxième pièce de jonction 2b et l'élément de conduites coaxiales, notamment à cause de la nécessaire mise en œuvre d'une soudure longitudinale au niveau de la jonction longitudinale 15 des deux demi coquilles, et à cause du nécessaire croisement de soudure entre
30 la soudure circulaire au niveau des chanfreins 16 et la soudure longitudinale au niveau des bords longitudinaux 15, à l'extrémité desdites soudures longitudinales.

Dans les figures 2A et 2B, on a représenté en coupe longitudinale en vue de côté, le soudage de la seconde extrémité d'une rame 1 de type PiP à une seconde pièce forgée de jonction 2b assemblée selon l'invention par soudage depuis l'extérieur et selon la séquence suivante. Dans une première

5 étape, la conduite interne et l'enveloppe externe sont soudées à la première pièce forgée, comme expliqué précédemment en regard de la figure 1A. La conduite interne 1b dont la seconde extrémité est initialement en retrait d'une longueur L_3 par rapport à la seconde extrémité correspondante de la conduite

10 externe, est alors expansée de manière réversible, longitudinalement selon l'axe XX', du côté de sa deuxième extrémité d'une longueur L_3+L_2 , comme il sera expliqué plus avant dans la description, de manière à ce que ladite deuxième extrémité de ladite conduite interne dépasse de l'extrémité de l'enveloppe externe d'une longueur L_2 , telle que la distance entre ladite

15 extrémité de l'enveloppe externe 1a et celle correspondante de la branche externe de la seconde pièce de jonction forgée 2b, au niveau de sa périphérie, atteigne une valeur $L=L_2+L_1$ suffisante pour permettre l'accès à la torche de soudage 9 et aux équipements de soudage conventionnels pour effectuer une soudure 1b₁ depuis l'extérieur, de l'extrémité de la conduite interne avec l'extrémité de la branche interne 3₂ de la pièce forgée 2b quand lesdites

20 extrémités sont mises bout à bout. Après le soudage et les opérations de contrôle, l'expansion de la conduite interne est alors résorbée et la seconde pièce forgée revient en contact avec l'enveloppe externe pour être soudée de manière connue depuis l'extérieur en 1a₁.

Sur la figure 3A, on a représenté un premier mode d'expansion de la

25 conduite interne constitué d'un système de chauffage de ladite conduite interne. A cet effet, depuis la première extrémité, on insère une ou plusieurs cartouches chauffantes 3 constituées d'un cylindre métallique ou une pluralité de cylindres métalliques espacés comportant à leur surface des résistances électriques et introduits à l'intérieur de ladite conduite interne, réparties de

30 manière uniforme ou non le long de ladite conduite interne. Ces cartouches 3 sont, alimentées par un câble 3a. Le chauffage provoque une expansion proportionnelle à la longueur de conduite mise en température et à la variation de température dans la zone considérée. L'expansion de la conduite

interne 1b permet de dégager un espace libre $L=L_0=L_2+L_1$ entre les extrémités de la branche externe 3₁ et de la conduite externe 1a, permettant d'avoir accès à la zone de soudure pour effectuer l'assemblage de la seconde pièce forgée sur l'extrémité de ladite conduite interne, ladite soudure 1a₁ étant effectuée de manière connue depuis l'extérieur. Après le soudage et les opérations de contrôle, le chauffage est supprimé, puis la conduite interne, en se refroidissant, se rétracte et l'espace de valeur L tend vers 0. La seconde pièce forgée 2b vient alors en contact avec l'enveloppe externe 1a au niveau de sa périphérie et peut être ainsi soudée de manière connue depuis l'extérieur en 1a₁.

Pour la clarté des dessins, on a représenté un manchon faisant office de gabarit positionneur 5 de la seconde pièce forgée 2b sur la conduite interne 1a, seulement sur les figures 3A, 4A et 4C, mais ce dispositif connu de l'homme de l'art est nécessaire dans tous les cas pour maintenir en position ladite seconde pièce forgée pendant toute la durée du processus de soudage.

Sur la figure 3B, on a représenté une alternative d'expansion thermique de la conduite interne basée sur l'utilisation d'un générateur d'air chaud 4, ou d'un simple brûleur à gaz ou à mazout, alimenté depuis l'une des extrémités, par exemple depuis la seconde extrémité du PiP, par une conduite 4a.

Sur la figure 3C, on a représenté un mode d'expansion basé sur une traction mécanique de la conduite interne effectuée à l'aide d'un treuil 8 extérieur à la conduite, relié par un câble 8a à un mandrin 6 à coins autobloquants 6a situé à l'intérieur de la conduite externe et venant se bloquer contre la paroi interne 2₃ de ladite conduite interne, dans une zone proche de l'extrémité de ladite conduite interne, par exemple à 1m de ladite extrémité. L'enveloppe externe 1a du PiP est fermement maintenue par un dispositif de blocage 7 fixé au sol, assurant une compression radiale de ladite conduite externe au niveau de la surface externe 2₅ de sa deuxième extrémité. Le treuil 8 est alors mis en tension et lorsque l'espace $L=L_0$ recherché est atteint, ledit treuil est bloqué et l'opération de soudage de la seconde pièce forgée 2b sur l'extrémité de la conduite interne est réalisée de manière précédemment décrite depuis l'extérieur.

Un dispositif de traction similaire basé sur l'utilisation de vérins hydrauliques 13 sera développé plus avant dans la description, dans une version préférée de l'invention.

Dans toutes ces méthodes décrites, le mode conventionnel de soudage
5 utilisé, connu de l'homme de l'art sous le nom de soudage orbital, utilise un dispositif de soudage, de type collier de guidage, installé sur la conduite, sur lequel se déplace un chariot portant la ou les têtes de soudage, le soudage s'effectuant alors sur une conduite fixe par rapport au sol, lesdites têtes de soudage tournant autour de ladite conduite. Dans ce mode de soudage, le
10 maintient du bain de soudure nécessite de faire varier de nombreux paramètres de soudage pour tenir compte de la zone en cours de soudage. En effet la partie supérieure de la conduite est extrêmement simple à souder, car le bain de soudure se tient naturellement, alors que en sous-face, le bain aurait tendance à couler et s'effondrer, les parties latérales et obliques
15 présentant des difficultés complémentaires de niveaux variables. Ainsi, pour un tel type de soudage, les paramètres principaux de soudage, intensité, tension, fréquence, vitesse linéaire de la tête et du fil d'apport, etc., sont modifiés en temps réel en fonction de la position de ladite torche de soudage en rotation autour de la conduite.

20 Dans les figures 4A-4F, on illustre un mode préféré de l'invention, dans lequel la tête de soudage 9 reste fixe par rapport au sol, de préférence à la verticale sur le dessus de la conduite, la longueur complète de conduite reposant sur des roulettes ou vireurs 10 est alors mise en rotation contrôlée par l'intermédiaire d'un vireur motorisé 10a pour effectuer l'opération de
25 soudage dans les meilleures conditions opérationnelles de maintien du bain de soudage.

Sur la figure 4A on a représenté le soudage de la seconde pièce forgée 2b sur la conduite interne 1b, l'expansion thermique étant assurée par les cartouches chauffantes 3 précédemment décrites en regard de la figure 3A.

30 Sur la figure 4B, en fin de soudage de la seconde pièce forgée sur la conduite interne 1b, le chauffage est arrêté et la conduite interne s'est

rétractée, autorisant ainsi le soudage de la branche externe de la seconde pièce forgée 2b sur la seconde extrémité de l'enveloppe externe à l'aide d'une même tête de soudage 9, après repositionnement de cette dernière au droit du cordon de soudure circulaire 1a₁ à réaliser.

5 Sur la figure 4C, on a détaillé le dispositif selon l'invention utilisant un treuil de traction 8 tel que décrit en regard de la figure 3c. Pour que la rotation de la rame puisse s'effectuer librement, le dispositif comporte un premier corps périphérique 11 disposé par-dessus la surface externe 2₅ de la conduite externe, fixe par rapport au sol, coopérant par l'intermédiaire d'un premier palier 11a avec un collier à coins bloquants 11b venant comprimer la
10 surface externe de la conduite externe, empêchant tout mouvement de translation de la rame 1 selon l'axe XX' vers la gauche, tout en autorisant sa rotation autour dudit axe XX'. Ledit premier palier 11a est constitué, par exemple, d'un roulement à rouleaux croisés à l'intérieur d'une première cage extérieure 11a₁ solidaire dudit corps périphérique 11 et d'une cage intérieure 11a₂ solidaire dudit collier à coins 11b. Le câble de traction 8a est relié au mandrin autobloquant 6 par l'intermédiaire d'un dispositif de type émerillon 6b qui autorise une rotation du mandrin 6 autour de l'axe longitudinal XX'. Le processus d'expansion de la conduite interne 1b reste similaire au
15 processus précédemment décrit en regard de la figure 3C, et le processus de soudage reste alors identique à celui décrit en regard des figures 4A-4B, la rotation de la rame étant assurée par une motorisation, non représentée, intégrée au premier corps périphérique 11 ou par motorisation 10a d'un vireur
20 10.

25 Sur la figure 4D on a détaillé un dispositif utilisant des vérins hydrauliques 13 pour effectuer l'expansion de la conduite interne 1b, et permettant aussi de faire tourner la rame, donc d'utiliser une tête de soudage 9 en position fixe à la verticale, au dessus de la conduite à souder.

Le premier corps périphérique 11, le premier palier 11a et le collier à
30 coins autobloquants 11b solidaires de la rame, ainsi que la motorisation 11a permettant de contrôler la rotation de la rame, sont identiques à celui décrit en regard de la figure 4C. Un tirant 12c, constitué d'un câble ou d'une barre

rigide, voire d'un vérin, relie le mandrin autobloquant 6 à un second palier 12a, constitué par exemple d'un roulement à rouleaux croisés, par l'intermédiaire d'un support 12b solidaire du tirant 12c. Le second palier 12a est constitué d'un roulement à rouleaux croisés intégré dans et entre une cage

5 intérieure 12a₂ solidaire dudit support 12b et une cage extérieure 12a₁ solidaire d'un deuxième corps périphérique 12 appliqué par-dessus la surface externe de la conduite interne et supportant au moins deux vérins hydrauliques 13 disposés diamétralement opposés par rapport à l'axe XX', en l'espèce 6 vérins hydrauliques répartis régulièrement, circulairement, comme

10 représentés sur la figure 4f. Les pistons 13a desdits vérins 13 sont solidaires de tiges 13b venant en butée en 13c avec le premier corps périphérique 11. Ainsi, en appliquant aux vérins 13 une pression P, le second corps périphérique 12 s'éloigne du premier corps périphérique 11 dans la direction XX', le tirant 12c exerce alors une traction sur la conduite interne par

15 l'intermédiaire du mandrin autobloquant 6. En augmentant progressivement la pression P, la conduite interne 1b s'expande jusqu'à ce que l'espace entre les extrémités de l'enveloppe externe 1a et la branche externe 3₁ de la pièce forgée, atteigne la valeur $L=L_0$ nécessaire pour effectuer la soudure de la pièce forgée 2b sur la conduite interne 1b, comme expliqué précédemment. Lesdits

20 premier et second paliers 11a-12a, autorisent la rotation de la rame complète alors que lesdits premier et second corps périphériques 11, 12, ainsi que les tiges 13b des vérins 13 restent fixes par rapport au sol, donc autorisent l'utilisation d'une tête de soudage fixe 9, avantageusement située à la verticale, au dessus de la conduite à souder. Lorsque la soudure 1b₁ de la

25 conduite interne 1b sur la pièce forgée 2b est terminée, la pression dans les vérins est relâchée, la conduite interne se rétracte alors et la pièce forgée vient en contact avec l'enveloppe externe au niveau de sa périphérie, à laquelle elle peut alors être soudée de la même manière.

On a décrit sur les figures 3C et 4C l'utilisation d'un treuil de

30 tensionnement 8, mais on reste dans l'esprit de l'invention en utilisant un vérin solidaire du sol et situé à l'axe XX' de la rame et relié au mandrin autobloquant 6 par l'intermédiaire d'un câble ou d'une barre métallique identique à la barre 12c de la figure 4D.

Dans le cas de PiP devant véhiculer des fluides à très haute température, l'enveloppe externe se trouve en général à la température du fond de la mer, c'est-à-dire 3-5°C, alors que la conduite interne se trouve à la température du fluide, laquelle peut atteindre 120-150°C, voire plus. Ainsi,

5 lors de la fabrication de la rame de PiP, les deux conduites, au repos, sont à une température sensiblement identique (20-30°C par exemple). De même, une fois posées au fond, elles se retrouvent toutes deux à la température du fond de la mer (3-5°C), mais dès que le fluide circule, la température dudit fluide crée une contrainte de compression dans ladite conduite interne 1b, car

10 cette dernière est bloquée à ses extrémités au niveau des pièces forgées. Cette mise en compression selon l'axe XX' risque de créer des instabilités de type flambage latéral dans le plan perpendiculaire à XX', risque que l'on supprime en installant à intervalles réguliers ou non, des centraliseurs 1c qui empêchent l'apparition de tels phénomènes. Mais, ces centraliseurs sont d'un coût élevé,

15 sont délicats à installer et, de plus, créent des ponts thermiques qui réduisent d'autant l'efficacité du système d'isolation et il est avantageux de réduire leur nombre. A cet effet, la conduite interne 1b et l'enveloppe externe 1a étant au repos, à la même température, on ajuste la longueur de la conduite interne de manière à ce qu'elle soit plus courte d'une valeur $L_1 + e$ par rapport à la

20 conduite externe, tel que représenté sur la figure 5a. L'expansion de la conduite interne est alors réalisée par l'un des procédés précédemment décrit, les mêmes paramètres thermiques ou d'effort donnant alors une expansion ménageant un espace $L = L_0 - e$ entre l'extrémité de la branche externe 3₂ de la pièce et l'extrémité de la conduite externe. Le soudage de la pièce forgée 2b

25 sur la conduite interne 1b est alors effectué comme indiqué précédemment, puis la conduite interne est rétractée. Lorsque la pièce forgée vient en contact avec l'enveloppe externe 1a, la conduite interne présente alors une traction résiduelle proportionnelle à la valeur de e . En pratique, pour une longueur de rame de 50m, L_1 représente 10 à 100 mm et la valeur de e

30 dépendra du point de fonctionnement en température de la conduite. Par exemple, si la conduite est portée à un différentiel de température par rapport à l'eau de mer $\delta T = 120^\circ\text{C}$ en cours d'utilisation, on prévoira classiquement des valeurs de e de 35 à 45 mm, ce qui correspond à une contrainte, due à la seule température, nulle pour un différentiel de température $\delta T = 60^\circ\text{C}$, donc à un

décalage vers le bas d'environ 50% du niveau de contrainte de compression dans la conduite interne. De la même manière pour $\delta T = 180^\circ\text{C}$, $e = 55$ à 60 mm pour obtenir le même décalage de 50% vers le bas, de la contrainte de compression dans la conduite intérieure.

- 5 Ainsi, en cours d'utilisation à haute température, la contrainte de compression de la conduite interne se trouve réduite d'autant, ce qui permet d'augmenter l'espacement des centraliseurs, donc de réduire leur nombre.

10 Pour effectuer la soudure finale de la seconde pièce forgée 2b sur l'enveloppe externe, on prendra soin de maintenir dans la conduite interne un niveau d'expansion (température ou tension) suffisant pour que la face des deux pièces à souder ne soient pas appuyées l'une contre l'autre de manière significative, de manière à ce que la soudure puisse être effectuée sans contraintes de compression dans la zone de soudage. En fin de processus de soudage, l'expansion (chaleur ou tension) peut alors être complètement
15 relâchée et la conduite intérieure atteint alors le niveau de préhension recherché.

20 Pour effectuer les opérations de soudage de la seconde pièce forgée sur la conduite interne, en laissant fixe la rame, comme décrit en regard des figures 3A-3B-3C, la distance L doit être de l'ordre de 10 cm pour autoriser le passage des têtes de soudage et des chariots de guidage circulaires, et avoir une bonne visibilité pour le contrôle du processus. Cette valeur d'expansion n'est possible à obtenir qu'avec des rames de longueur suffisante, par exemple 24-36-48m, voire plus, et ne peut être envisagée de manière réaliste sur des longueurs plus courtes car le différentiel de température ou la
25 contrainte de traction serait alors incompatible avec les aciers utilisés.

30 A titre d'exemple, une rame de type PiP de 50m de long constituée d'une conduite interne de 273,1 mm de diamètre et de 15,88 mm d'épaisseur, et d'une enveloppe externe de 355,6 mm de diamètre et de 19,1 mm d'épaisseur, nécessite une force de traction de 329,5 tonnes pour obtenir un déplacement de l'extrémité de la conduite interne de sorte que $L = 100\text{mm}$, 61,1% du déplacement étant obtenu par l'allongement de la conduite interne

(en traction), et 38,9% étant obtenu par contraction de l'enveloppe externe (en compression longitudinale).

On reste limité par le fait que la limite élastique de l'acier ne doit pas être dépassé, et pour un acier de qualité X60 selon la norme américaine API-
5 5L, la limite élastique est de 413 MPa, les contraintes respectives de traction dans la conduite interne, et de compression dans l'enveloppe externe sont respectivement de 257MPa et 163MPa soit respectivement 62% et 40% des limites élastiques. Ces valeurs illustrent que si l'on divise par 2 la longueur de la rame (rame de 25 m) ces valeurs doublent pour obtenir l'élongation
10 recherchée ($L=100\text{mm}$), et la contrainte dans la conduite interne devient alors inacceptable, alors qu'elle reste encore acceptable pour l'enveloppe externe.

En utilisant l'expansion thermique de la conduite interne, ou ce qui reviendrait au même, mais serait beaucoup plus compliqué à réaliser, le refroidissement cryogénique de l'enveloppe externe, on obtient une expansion
15 à relativement basse température.

A titre d'exemple, la même conduite interne de 273,1 mm de diamètre et de 15,88 mm d'épaisseur soumise à une variation de température de $192,3^\circ$ sur une longueur de 40 m présente une expansion thermique L de 100 mm.

Pour un fonctionnement de la conduite interne avec une température
20 différentielle de $\delta T=120^\circ\text{C}$ par rapport à l'eau de mer, on fabriquera avantageusement le PiP avec une valeur de $e=39$ mm, ce qui correspond une précontrainte de traction de 100.15 MPa dans la conduite intérieure lorsque le PiP est hors service, ce qui représente 24.3% de la limite élastique, à une contrainte nulle lorsque le différentiel de température est de $\delta T=60^\circ\text{C}$, et une
25 contrainte de compression de 100.15 MPa lorsque le différentiel de température est maximum $\delta T=120^\circ\text{C}$. Ladite contrainte de traction initiale au repos correspond alors à une pré tension de 128.5 tonnes. En augmentant la valeur de e , on diminue le niveau de contrainte maximale de compression dans la conduite intérieure à la température maximale de
30 fonctionnement. Ces valeurs ne sont données qu'à titre illustratif de l'intérêt de l'invention et ne sont qu'approchées, car le calcul exact des contraintes

internes au PiP en fonctionnement doit aussi prendre en compte les effets de la pression interne du fluide circulant, ainsi que les effets de la pression au niveau du fond de la mer qui est approximativement de 10MPa, soit environ 100bars par tranche de 1000m. Ainsi, en fonction des divers paramètres de fonctionnement du PiP (pression de service, température, profondeur d'eau, ...), on sera amené à considérer des valeurs de ϵ adaptées aux conditions de service, donc à décaler vers le bas la contrainte maximale de compression dans la conduite intérieure d'un pourcentage adapté à chacun des cas rencontrés.

10 Au cas où le système d'isolation pré installé entre les deux conduites présente une limite supérieure à ne pas dépasser, par exemple 120°C, on effectuera avantageusement une expansion mixte, dans laquelle une partie de l'expansion est produite de manière thermique, le solde étant effectué à l'aide d'un des moyens de traction précédemment décrit. Ce dispositif mixte est

15 aussi avantageux sur le plan sécurité, car il permet d'éviter aux opérateurs de travailler à proximité d'éléments mécaniques sous efforts de tension considérables, les dites tensions étant de l'ordre de 300-500 tonnes et pouvant même atteindre 1000 tonnes voire plus dans le cas de très grosses conduites de type PiP.

20 Dans le cas où l'on utilise une tête de soudage fixe et où l'on fait tourner la rame, comme décrit en regard des figures 4A-4B-4C-4D, l'espace nécessaire au seul passage de la tête est beaucoup plus réduit et peut dans certains cas être limité à 5-6 cm, ce qui réduit d'autant les efforts nécessaires, ou l'ampleur des effets thermiques nécessaires pour atteindre le résultat.

25 L'expansion thermique présente un avantage de sécurité, car il n'implique pas de travailler à proximité d'éléments sous fortes contraintes mécaniques. Par contre, la mise en température et le refroidissement de la conduite interne nécessitent une certaine durée qui réduit d'autant les cadences de production.

30 L'expansion mécanique nécessite des efforts considérables qui atteignent plusieurs centaines de tonnes et implique des moyens de sécurité

adaptés. En revanche, la mise en tension et le relâchement de ladite tension sont effectués dans des temps très courts de l'ordre de quelques minutes.

Selon une autre variante de réalisation de l'invention, on installe à quelques mètres des extrémités de la conduite intérieure, des bouchons
5 obturateurs, communément appelés « packers », permettant ainsi de remplir intégralement d'eau ladite conduite intérieure, puis de la mettre sous pression pour obtenir l'allongement de ladite conduite intérieure. A titre d'exemple, dans le cas de PiP détaillé précédemment, l'expansion sous le seul effet de fond de la conduite intérieure pour une pression de 300 bars est d'environ
10 32.6mm pour une dite rame de longueur 50 m. Toutefois, ce mode d'expansion n'est intéressant que pour de très longues rames (75-100m), car la valeur de L reste faible pour des rames de 50m.

Selon une variante de réalisation de l'invention, on utilise lesdits packers pour réaliser au sein de la conduite intérieure un volume étanche
15 dans lequel on fait circuler de l'eau chaude, l'eau chaude provenant par exemple d'un réservoir calorifugé et maintenu à la température désirée. Ainsi, en début de cycle, après installation des packers, ledit volume est rempli par de l'eau déjà chaude et est maintenue à la température voulu par simple circulation, l'apport de calories étant effectué de préférence au
20 sein du réservoir calorifugé. En fin de cycle, on récupère l'eau chaude que l'on renvoie vers ledit réservoir calorifugé, en attente du prochain cycle. Ce mode de chauffage est avantageusement couplé à un mode de traction mécanique pour atteindre un niveau d'expansion plus élevé.

REVENDICATIONS

1. Elément de conduites coaxiales (1) comprenant une conduite interne (1b) et une conduite externe (1a) avec un espace annulaire (1d), de préférence rempli d'un matériau d'isolation (1e), et à chaque extrémité une
5 pièce de fermeture étanche dudit espace annulaire constituée chacune par une pièce de jonction de révolution forgée (2a, 2b) constituée chacune d'un seul bloc, destinée à la jonction de deux dits éléments de conduites coaxiales (1) bout à bout, chaque dite pièce de jonction (2a, 2b) comportant au moins deux premières branches de révolution (3_1 , 3_2) dont
10 une première branche de révolution interne (3_2) soudée directement à une extrémité de ladite conduite interne avec un cordon de soudure circulaire ($1b_1$) et une première branche externe (3_1) soudée directement à l'extrémité de ladite conduite externe avec un cordon de soudure circulaire ($1a_1$), lesdites premières branches internes de révolution (3_2) étant plus longues
15 par rapport aux dites premières branches externes (3_1) d'une longueur L_1 dans la direction longitudinale axiale (XX') dudit élément de conduites coaxiales, chaque dite pièce de jonction à chaque extrémité dudit élément de conduite étant destinée à être assemblée, d'un côté aux extrémités desdites conduites externe et interne dudit élément de conduite coaxiale, et
20 du côté opposé, directement à une autre dite pièce de jonction, elle-même assemblée par soudage à l'extrémité d'un autre élément unitaire de conduite coaxiale caractérisé en ce que tous lesdits cordons de soudure circulaires ($1a_1$, $1b_1$) sont déposés du côté extérieur des conduites interne et externe.

2. Elément de conduites coaxiales selon la revendication 1,
25 caractérisé en ce que ladite conduite interne (1b) est soumise à une contrainte de traction exercée par chaque dite pièce de jonction à chaque extrémité, lorsque ledit élément de conduite coaxiale est hors service.

3. Elément de conduites coaxiales selon la revendication 2, caractérisé en ce que ladite conduite interne (1b) est soumise à une traction
30 correspondant à une contrainte de traction inférieure à 90%, de préférence

de 5 à 75% de la limite élastique de l'acier constituant ladite conduite interne, lorsque ledit élément de conduites coaxiales est hors service .

4. Elément de conduites coaxiales selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il est destiné à l'assemblage de conduites sous-marines en acier et présente une longueur de 10 à 100 m, de préférence de 20 à 50 m.

5. Elément de conduites coaxiales selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que lesdites premières branches interne (3₂) et externe (3₁) desdites pièces forgées de révolution (2a, 2b) sont sensiblement de même épaisseur respectivement que lesdites conduites interne (1b) et externe (1a) à leurs extrémités.

6. Elément de conduites coaxiales selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit élément de conduites comporte à chaque extrémité une dite pièce forgée (2a, 2b) délimitée comme suit :

15 dans une direction radiale par rapport à un axe longitudinal XX' de révolution de ladite pièce, elle est délimitée par une paroi interne cylindrique (2₂) sensiblement de même diamètre que celui de la partie courante de ladite conduite interne (1b), et par une paroi externe (2₁) cylindrique de diamètre sensiblement égal au diamètre externe de la partie courante de ladite conduite externe (1a), et

20 dans la direction axiale longitudinale XX',

- du côté de ladite pièce de jonction destinée à être assemblée par soudage à l'extrémité desdites conduites externe et interne d'un dit élément de conduites coaxiales, lesdites parois externe (2₁) et interne (2₂) de ladite pièce de jonction forment en section longitudinale des premières branches respectivement externe (3₁) et interne (3₂) sensiblement de même épaisseur que lesdites conduites externe (1a) et interne (1b) auxquelles elles sont destinées à être assemblées, lesdites premières branches externe (3₁) et interne (3₂) délimitant une première cavité annulaire (4₁) et

• du côté opposé de ladite pièce de jonction destinée à être assemblée à une autre dite pièce de jonction, elle-même assemblée par soudage à l'extrémité d'un autre élément d'ensemble de conduites coaxiales, lesdites parois externe (2₁) et interne (2₂) forment en section longitudinale des deuxièmes branches respectivement externe (5₁) et interne (5₂),
5 délimitant une deuxième cavité annulaire (6₁),

• les fonds desdites première et deuxième cavités (4₁, 6₁) étant espacés dans ladite direction longitudinale XX', de manière à délimiter une zone pleine de ladite pièce de jonction dans laquelle lesdites parois externe (3₁) et interne (3₂) forment les faces externe et interne d'une même paroi cylindrique.
10

7. Elément de conduites coaxiales selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que le matériau isolant (1e) est un matériaux microporeux ou nanoporeux, de préférence un aérogel, se présentant, de préférence encore, sous forme de grains de 0,5 à 5 mm de diamètre.
15

8. Elément de conduites coaxiales selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que

- l'extrémité libre de ladite deuxième branche externe (5₁) présente une forme, de préférence un chanfrein (18), la rendant apte à être soudée, depuis l'extérieur de la conduite, à l'extrémité libre d'une autre dite deuxième branche externe d'une autre pièce de jonction à laquelle elle est destinée à être assemblée, ladite autre pièce de jonction étant, elle-même, assemblée à l'extrémité d'un deuxième dit élément d'ensemble de deux conduites coaxiales, et
20

- l'extrémité libre de ladite deuxième branche interne (5₂) présente une forme la destinant à buter en contact sans lui être soudée avec l'extrémité libre d'une autre dite deuxième branche interne d'une autre dite pièce de jonction assemblée à l'extrémité d'un dit deuxième élément d'ensemble de conduites coaxiales, et
25

- les extrémités libres des dites deuxièmes branche externe (5₁) et branche interne (5₂) d'une même pièce de jonction arrivent sensiblement au même niveau dans ladite direction longitudinale (XX'), et
30

- les deux dites deuxièmes branches externes des deux dites pièces de jonction destinées à être assemblées par soudure étant de même épaisseur, supérieure à l'épaisseur de ladite conduite externe, et de préférence supérieure à l'épaisseur de ladite deuxième branche interne de ladite pièce de jonction.

9. Ensemble d'au moins deux conduites coaxiales constituées de l'assemblage d'au moins deux éléments de conduites coaxiales selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il comprend au moins deux dits éléments d'ensemble de conduites coaxiales selon l'une des revendications 1 à 8, comprenant chacun, à au moins une extrémité, une dite pièce de jonction assemblée par soudage à une pièce de jonction de l'autre dit élément d'ensemble de conduites coaxiales, les deux dites pièces de jonction étant, de préférence, soudées l'une à l'autre uniquement au niveau de l'extrémité desdites deuxièmes branches externes (5_1), les extrémités desdites deux branches internes (5_2) non soudées venant buter en contact l'une avec l'autre lors de l'assemblage des deux dites pièces de jonction, de sorte que lesdites deuxièmes cavités internes (6_1) ne sont pas étanches vis-à-vis de l'intérieur de ladite paroi interne et de ladite conduite interne.

10. Procédé de fabrication d'un élément de conduites coaxiales (1) comprenant une conduite interne (1a) et une conduite externe (1b) et comportant à chacune de ses extrémités une pièce de jonction forgée de révolution (2a, 2b), chaque dite pièce de jonction forgée (2a, 2b) comportant au moins deux premières branches de révolution, dont une première branche interne (3_2) et une première branche externe (3_1), l'extrémité cylindrique de ladite première branche externe (3_1) étant en retrait d'une longueur L_1 par rapport à l'extrémité cylindrique de ladite première branche interne (3_2), procédé dans lequel on réalise les étapes successives suivantes dans lesquelles :

1/ on soude l'extrémité cylindrique de ladite première branche interne (3_2) d'une première pièce de jonction (2a), avec une première extrémité de ladite conduite interne (1b) non recouverte par la conduite

externe (1a), la soudure étant réalisée depuis l'extérieure de ladite conduite interne, et

2/ on déplace ladite conduite externe (1a) co-axialement autour de ladite conduite interne, de manière à ce qu'une première extrémité de ladite conduite externe arrive bout à bout avec l'extrémité correspondante de la première branche externe (3₁) de ladite première pièce de jonction, la seconde extrémité de ladite conduite interne étant en retrait par rapport à la seconde extrémité correspondante de ladite conduite externe d'une longueur L₃ au moins égale à L₁, et

3/ on soude l'extrémité de ladite première branche externe (3₁) de ladite première pièce de jonction forgée (2a) avec l'extrémité de ladite conduite externe (1a), depuis l'extérieur de ladite conduite externe,

procédé caractérisé en ce que l'on réalise les étapes ultérieures successives suivantes dans lesquelles :

4/ on expande de manière réversible, dans la direction longitudinale axiale (XX'), ladite seconde extrémité de ladite conduite interne (1b), de manière à ce que celle-ci dépasse d'une longueur L₂ par rapport à ladite seconde extrémité correspondante de ladite conduite externe (1a), et

5/ on soude depuis l'extérieur de ladite conduite interne (1b), l'extrémité de la première branche interne (3₂) d'une deuxième dite pièce forgée (2b) avec ladite seconde extrémité de ladite conduite interne (1b) en position expansée, et

6/ on résorbe au moins partiellement l'expansion de ladite conduite interne jusqu'à ce que ladite seconde extrémité de ladite première branche externe (3₁) de ladite deuxième pièce forgée (2b) arrive bout à bout avec ladite seconde extrémité de ladite conduite externe (1a) et

7/ on soude depuis l'extérieur de ladite conduite externe, l'extrémité de ladite première branche externe (3₁) de ladite deuxième pièce forgée (2b) avec ladite seconde extrémité de ladite conduite externe.

11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que :

- à l'étape 2/, ladite seconde extrémité de la conduite externe (1a) du coté destiné à être raccordé à ladite deuxième pièce de jonction forgée (2b), est ajustée de manière à dépasser de ladite seconde extrémité correspondante de la conduite interne d'une longueur $L_3 = L_1 + e$, , et

5 - à l'étape 4/, on réalise une expansion de ladite conduite interne d'une longueur L_2 supérieure ou égale à $L_1 + e$, de sorte que, à l'étape 6/, on résorbe partiellement ladite expansion et à l'issue du soudage de l'étape 7/, ladite conduite interne (1b) se trouve soumise à une traction correspondant à un allongement résiduel inférieur ou égal à e .

10 12. Procédé l'une des revendications 10 ou 11, caractérisé en ce que, à l'étape 4/, on réalise l'expansion de ladite conduite interne par chauffage de celle-ci, de préférence à l'aide de dispositifs de chauffage (3, 4) que l'on introduit et, de préférence que l'on déplace à l'intérieur de ladite conduite interne et que l'on fait agir de manière uniforme ou non le
15 long de ladite conduite, à l'intérieur de celle-ci.

 13. Procédé selon l'une des revendications 10 à 12, caractérisé en ce que, à l'étape 4/, on réalise ladite expansion par traction longitudinale (XX') mécanique de ladite conduite interne à l'aide d'un dispositif de traction (8, 13) comprenant un treuil (8) ou un vérin (13) disposé à
20 l'extérieur de ladite conduite interne.

 14. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce que, à l'étape 4/, ladite expansion se fait par traction longitudinale de ladite conduite interne et compression longitudinale simultanée de ladite conduite externe au niveau de leurs dites secondes extrémités.

25 15. Procédé selon l'une des revendications 10 à 14, caractérisé en ce que l'on réalise ledit soudage avec un dispositif comprenant une tête de soudage fixe (9), de préférence à la verticale au-dessus dudit élément de conduites (1), et on fait tourner ledit élément de conduites (1) sur lui-même autour de son axe longitudinal (XX').

16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que ledit dispositif de traction (8, 13) comprend ou coopère avec :

5 - des moyens de blocage de ladite conduite interne (6-6a-6b), permettant ainsi une translation longitudinale de ladite conduite interne en expansion lorsque le dispositif de traction est actionné, et autorisant la rotation de ladite conduite interne autour de son axe longitudinal (XX') le cas échéant, et

10 - des moyens de blocage de ladite conduite externe (11a-11b,11), empêchant tout mouvement de translation longitudinale de ladite conduite externe, et autorisant sa rotation autour de son axe longitudinal (XX').

17. Procédé selon la revendication 16, caractérisé en ce que lesdits moyens de blocage de la conduite externe, comprennent :

15 - un premier dispositif de blocage par compression radiale (11b) disposé fixement autour de ladite conduite externe tel qu'un collier à coins bloquant (11a), et

- un premier corps périphérique (11) fixe par rapport au sol, coopérant avec ledit premier dispositif de blocage (11b) par l'intermédiaire d'un premier palier (11a) autorisant la rotation de ladite conduite externe selon son axe longitudinal (XX').

20 18. Procédé selon la revendication 17, caractérisé en ce que ledit premier palier (11a) comprend des roulements à rouleaux croisés (11c), dans et entre une cage intérieure (11a₂) solidaire dudit collier (11b), et une cage extérieure (11a₁) solidaire dudit premier corps périphérique fixe (11).

25 19. Procédé selon l'une des revendications 16 à 18, caractérisé en ce que ledit dispositif de traction comprend ou coopère avec au moins un tirant (12c), constitué d'un câble ou d'une tige rigide, apte à être déplacé en translation longitudinale (XX') par treuil (8) ou un vérin (13), relié à un deuxième dispositif de blocage (6-6a-6b) de ladite conduite interne par compression radiale de la paroi interne (2₂) de ladite conduite interne,

disposé à l'intérieur de ladite conduite interne, tel qu'un mandrin autobloquant.

20. Procédé selon la revendication 19, caractérisé en ce que ledit dispositif de traction comprend au moins deux vérins (13) diamétralement opposés, de préférence au moins quatre vérins (13) régulièrement répartis
5 circulairement, dont les pistons (13a) solidaires de tiges (13b) viennent en butée (13c) avec ledit premier corps périphérique fixe (11) support dudit premier palier (11a), lesdits vérins étant reliés au dit tirant (12c) par l'intermédiaire d'un second palier (12a), constitué de préférence d'un
10 roulement à rouleaux croisés, comportant un second corps périphérique fixe par rapport au sol (12) supportant lesdits vérins (13, apte à coopérer avec un support (12b) solidaire dudit tirant (12c), de sorte qu'en appliquant aux vérins (13) une pression (P), le tirant (12c) exerce une traction sur la conduite interne, tout en autorisant la rotation dudit élément de conduites
15 autour de son axe longitudinal (XX'), lesdits premier et second corps périphériques (11, 12) ainsi que les tiges (13b) des vérins (13) restant fixes par rapport au sol, autorisant ainsi l'utilisation d'une tête de soudage fixe (9).

21. Procédé selon l'une des revendications 10 à 20, caractérisé en
20 ce que l'on réalise la fabrication d'un élément de conduites coaxiales selon l'une des revendications 1 à 8.

1/6

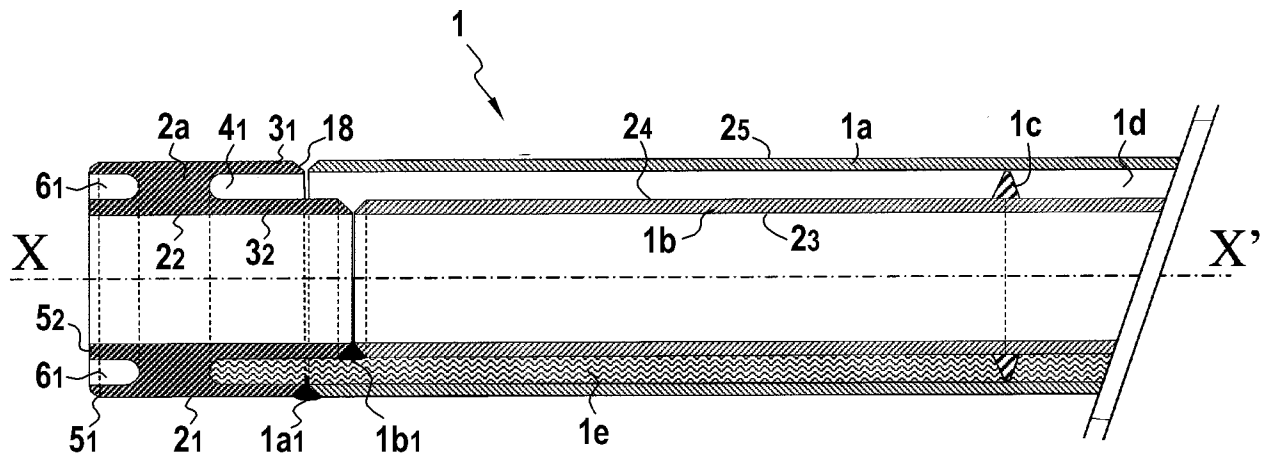


FIG.1A

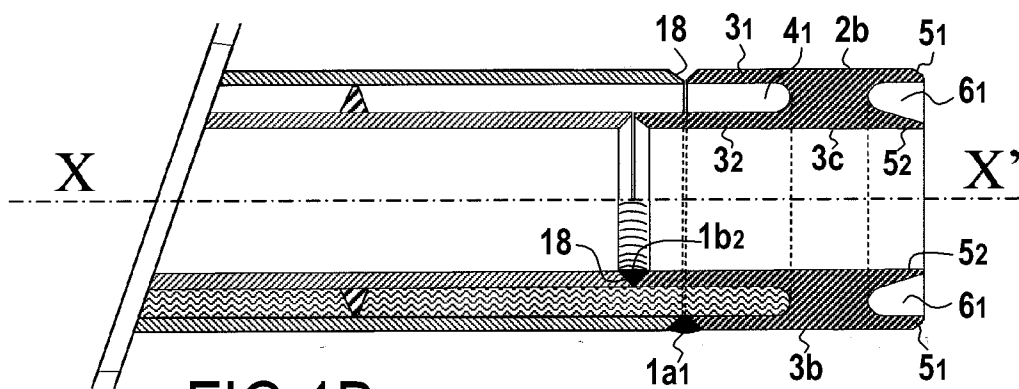


FIG.1B

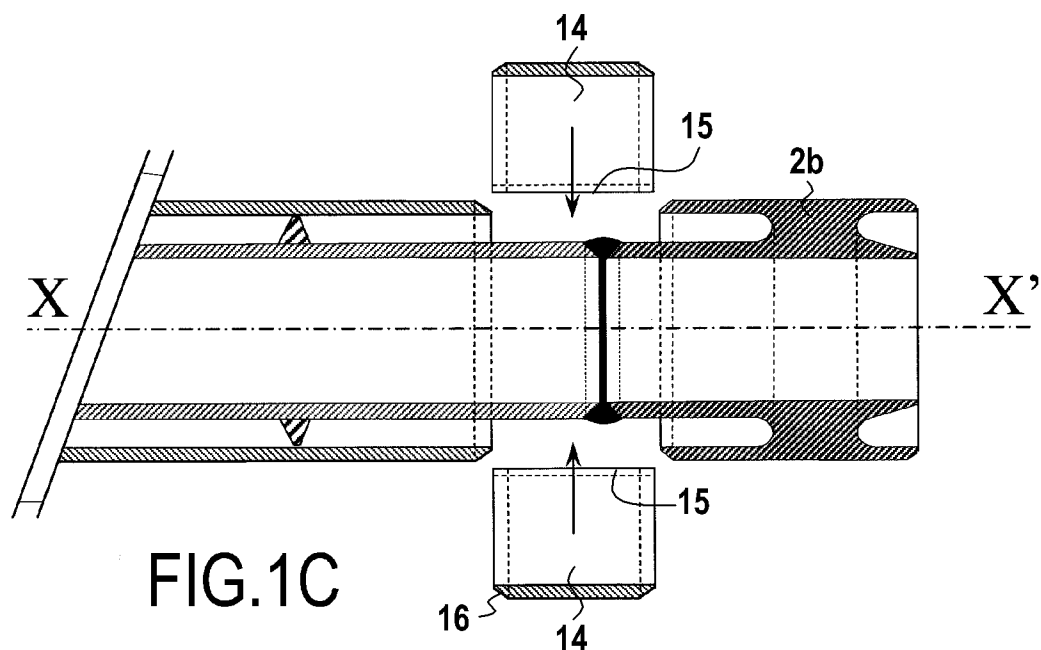
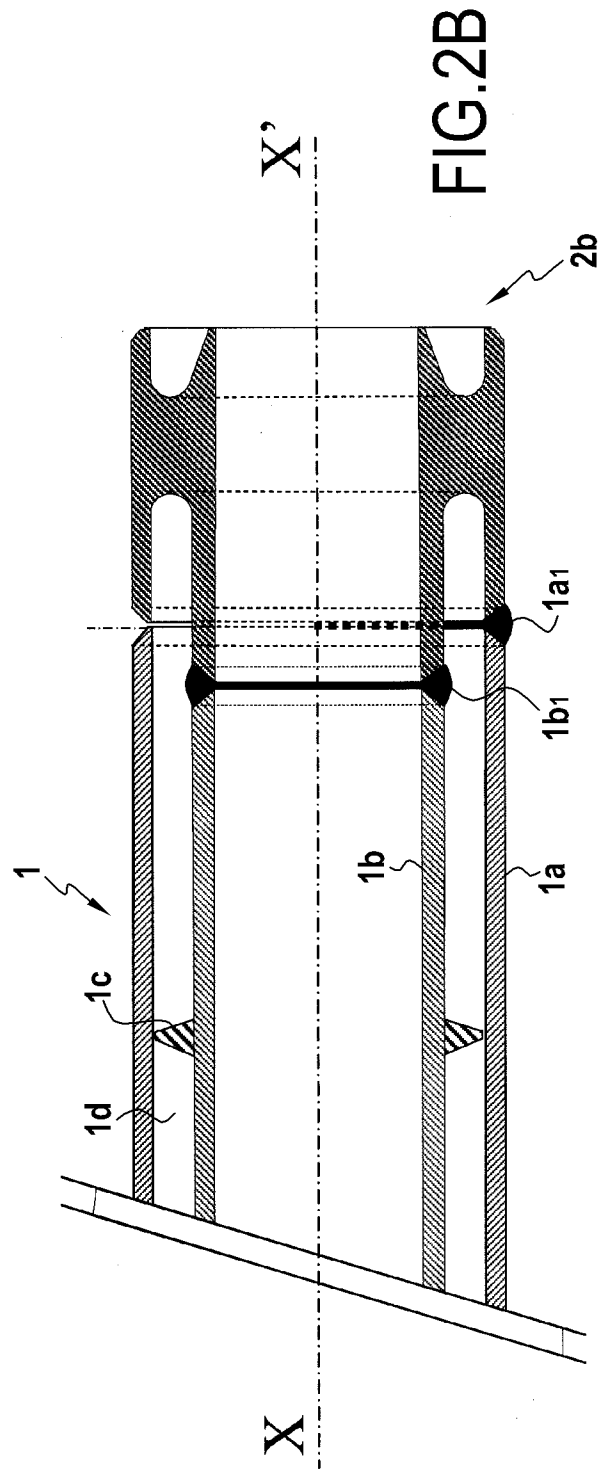
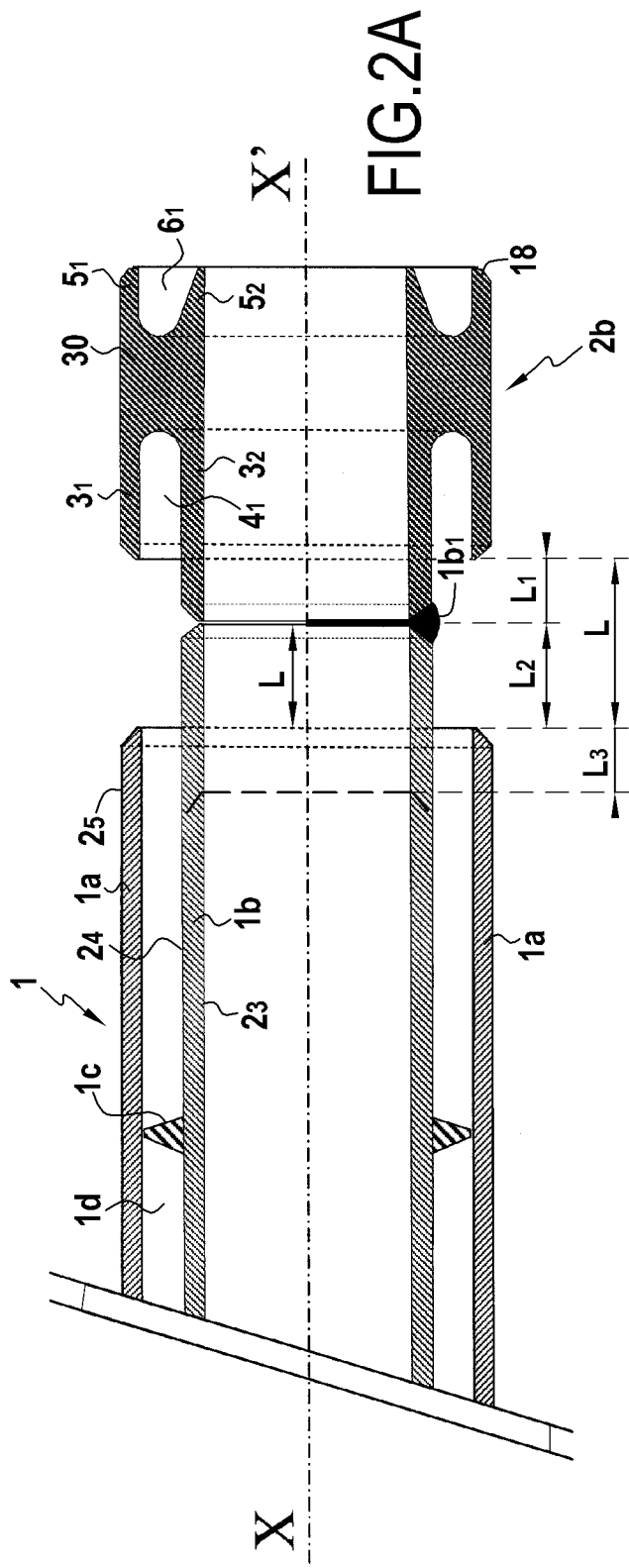


FIG.1C



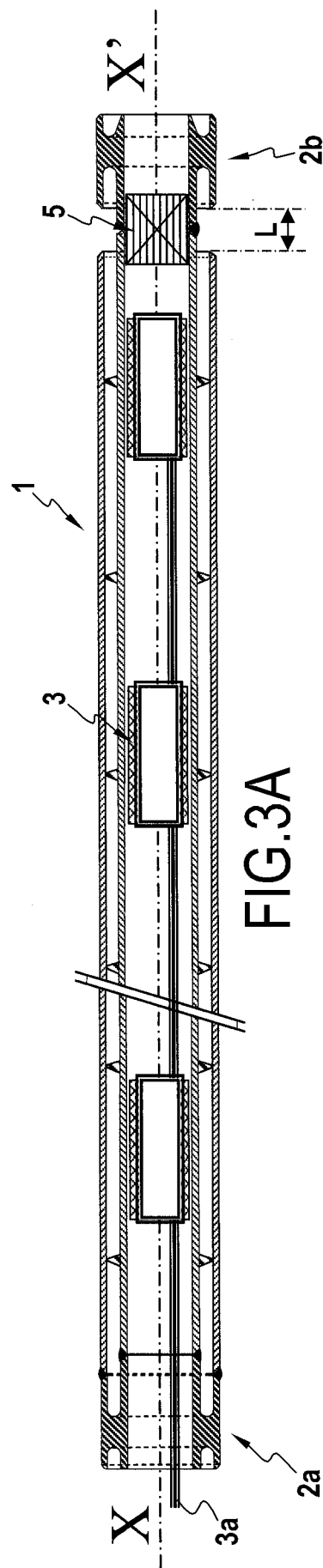


FIG. 3A

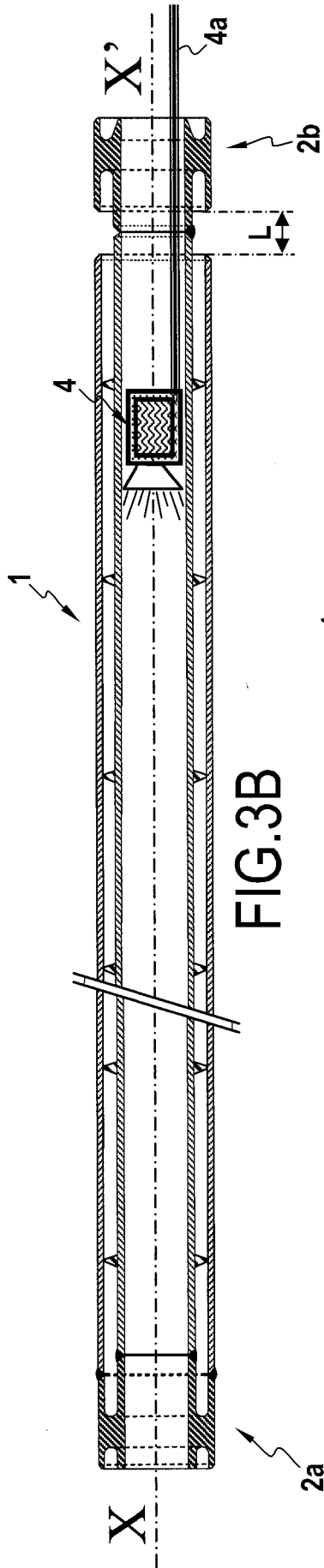


FIG. 3B

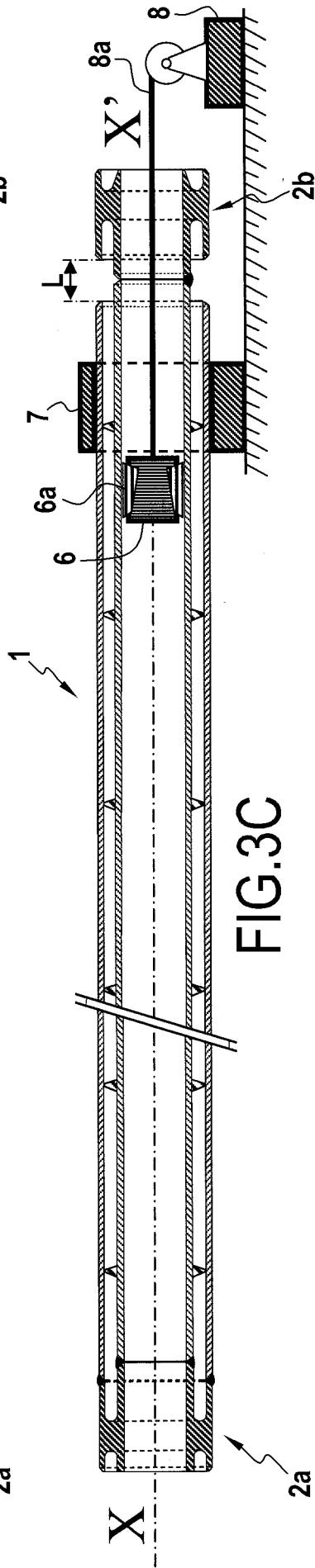


FIG. 3C

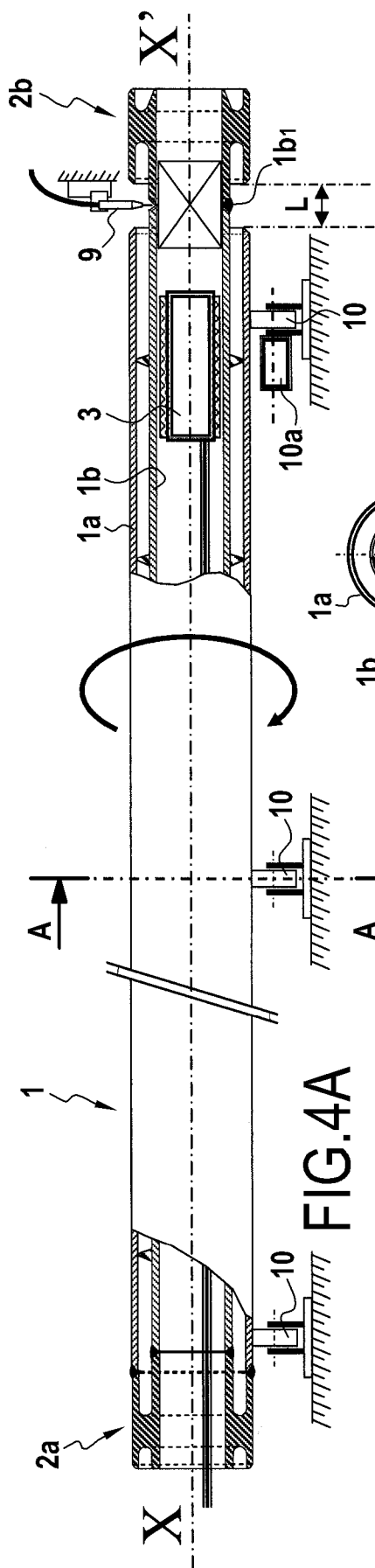
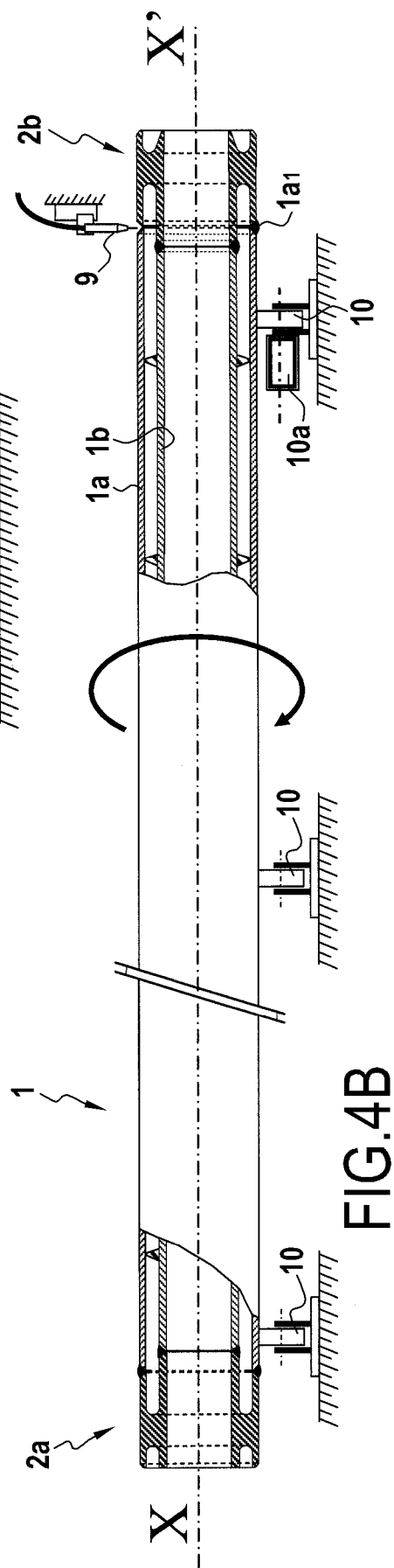


FIG. 4E



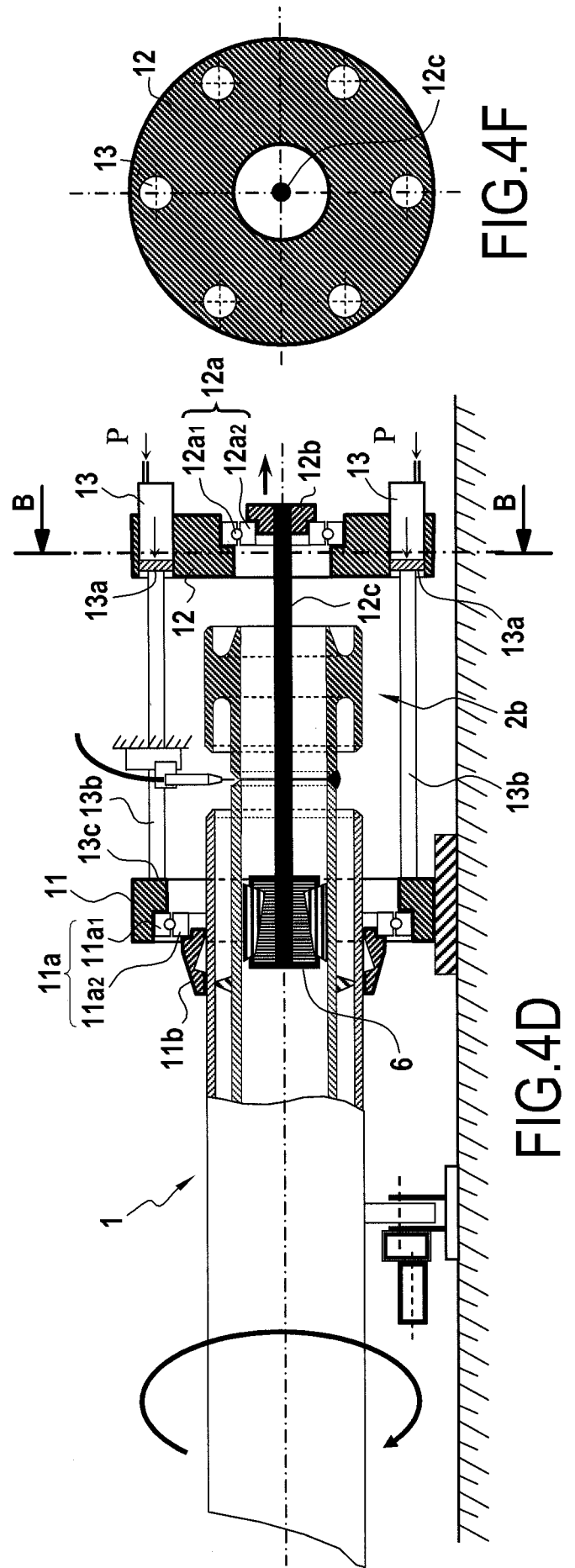
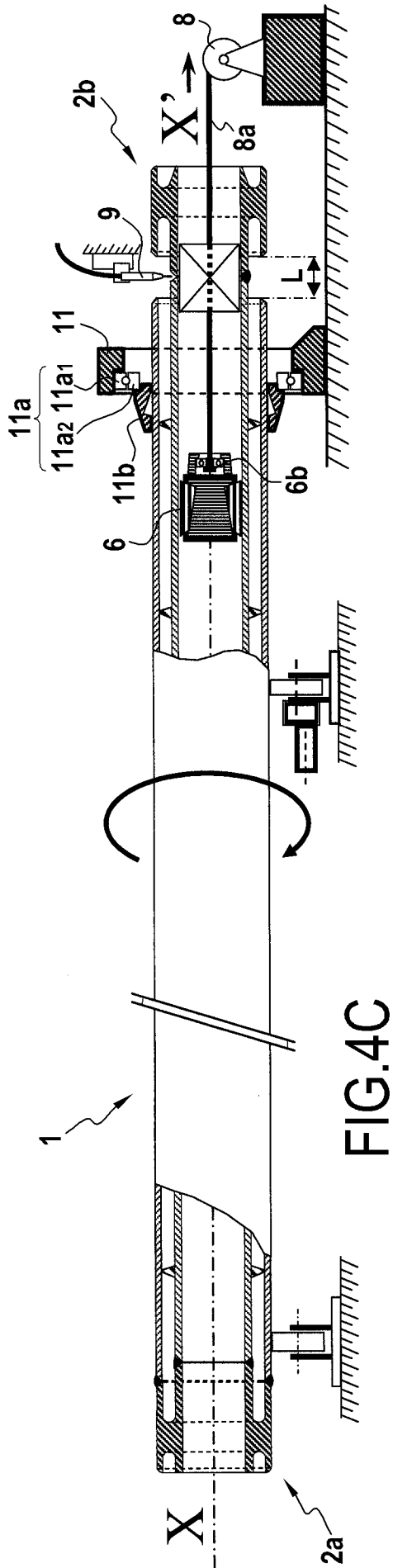


FIG. 4F

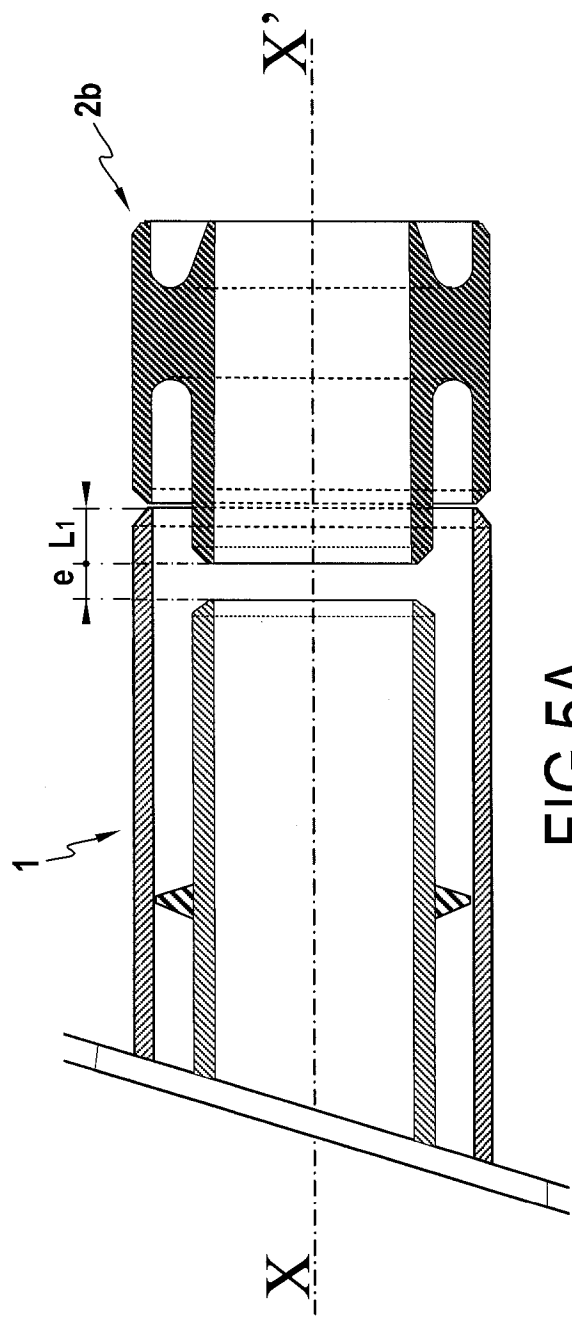


FIG. 5A

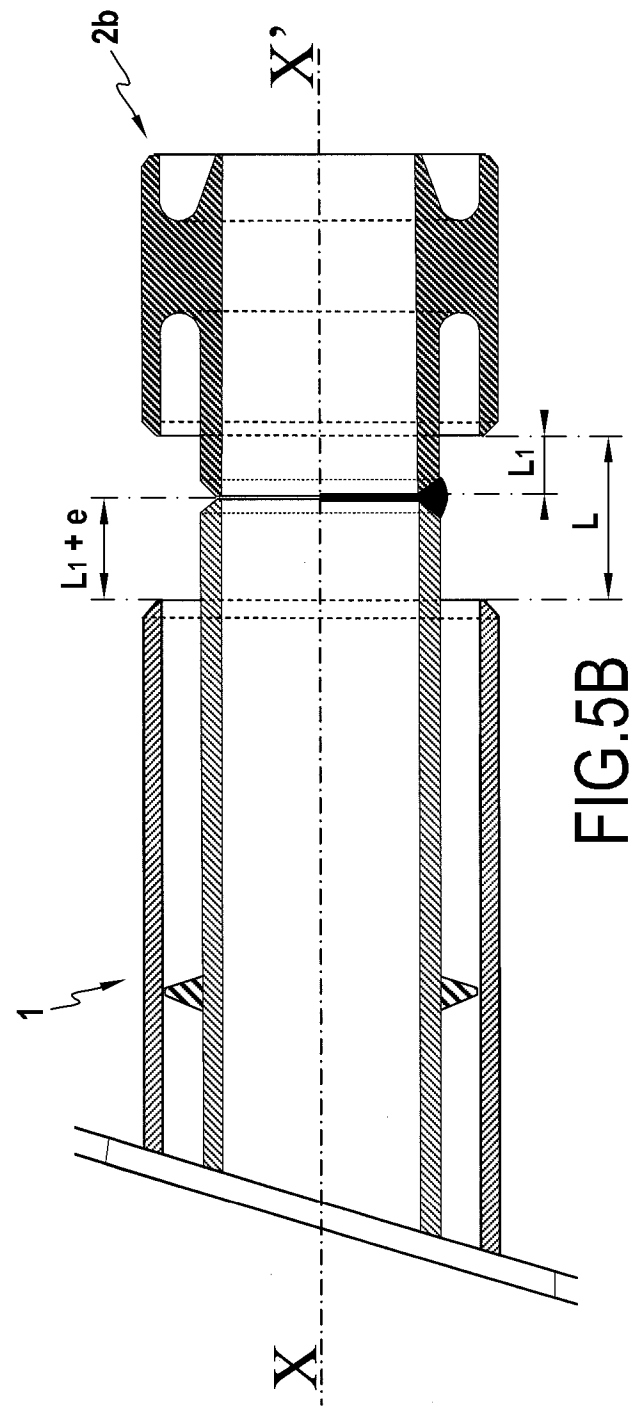


FIG. 5B