Description

Titre de l'invention : Conduite à triple enveloppe pour le transport de liquide cryogénique

Domaine technique

[0001] L'invention se rapporte au domaine des infrastructures de transport de gaz liquéfiés, et plus particulièrement aux pipelines, ou conduites, servant à transporter sur de grandes distances des liquides cryogéniques. Les conduites à triple enveloppe selon l'invention sont particulièrement adaptées au transport d'hydrogène ou d'hélium liquéfié.

Des conduites similaires sont connues du document US4014369 A.

Technique antérieure

[0002] Les liquides cryogéniques trouvent des applications nombreuses, par exemple :

[0003] - pour l'azote, dans le refroidissement, la cryopréservation, la contraction dimensionnelle des objets avant insertion dans un logement serré (dans l'industrie automobile), test ou l'inertage des produits dans l'industrie électronique,

[0004] - pour l'oxygène, dans la propulsion des fusées, l'oxygène médical, la sidérurgie pour la production d'acier,

[0005] - pour l'argon, en tant qu'isolant thermique, dans les ampoules ou les bains de soudure,

[0006] - pour l'hélium, dans l'industrie spatiale et la recherche scientifique (par ex. pour les supraconducteurs),

[0007] - pour le Gaz Naturel Liquéfié (GNL), en tant qu'alternative plus durable que les hydrocarbures traditionnels.

[0008] - pour l'hydrogène liquéfié, en tant que vecteur et moyen de stockage d'énergie ayant l'avantage de ne pas générer de CO_2 à la combustion.

[0009] Devant ces applications croissantes, les échanges commerciaux des liquides cryogéniques ont fortement augmenté, créant un besoin important en installations cryogéniques industrielles ou scientifiques et en lignes de transfert des fluides cryogéniques plus longues, plus sûres, rentables et plus efficaces (au sens du rendement et de la facilité et de rapidité de leur assemblage) et ce pour des installations aériennes, enterrées ou sous-marines.

[0010] Dans le domaine des conduites calorifugées de transport de fluide cryogénique, les lignes de transfert isolées sont utilisées depuis plusieurs années. Pour les plus robustes, elles consistent par exemple en des conduites à double enveloppe comprenant deux tubes concentriques :

[0011] - le tube intérieur est la conduite dans laquelle circule le fluide cryogénique ; ce tube intérieur est inséré dans un tube extérieur,

[0012] - le tube extérieur, dans lequel le tube intérieur est inséré, est d'un diamètre tel qu'un espace annulaire est créé entre les deux tubes.

[0013] Dans ces conduites à double enveloppe, l'espace annulaire est utilisé pour installer un isolant thermique, tel qu'un isolant multicouche couplé à un vide poussé (pression absolue inférieure à 10^{-4} mbar) associé à des écarteurs pour empêcher l'écrasement de l'isolant multicouche sous le poids du tube intérieur et du fluide véhiculé ou un isolant microporeux couplé à une pression réduite (pression absolue inférieure à 10 mbar à température ambiante).

[0014] Ce système de double enveloppe avec isolation thermique dans l'annulaire nécessite l'emploi, pour le tube interne, de matériaux compatibles avec les températures cryogéniques. Afin de permettre l'installation de tuyauteries droites et ou enterrées (sans éléments de flexibilité longitudinale tels que des soufflets ou des lyres de dilatation) l'utilisation d'un alliage à faible coefficient de dilation thermique tel que l'Invar® est particulièrement avantageux. En effet, les contraintes thermiques apparaissant dans le tube intérieur de la conduite à double enveloppe lors de la mise en température cryogénique sont mécaniquement dimensionnantes. Dans le cas d'un tube intérieur en acier inoxydable, ce type de conduite nécessite de ce fait des jonctions spéciales régulières (toutes les quelques dizaines de mètres) entre le tube intérieur et le tube extérieur ainsi qu'un élément de flexibilité pour autoriser les déplacements relatifs entre le tube intérieur à température cryogénique et le tube extérieur à température ambiante. Ces jonctions qui sont donc nécessaires pour éviter la rupture de la conduite constituent des zones de plus faible isolation thermique ce qui nuit à la performance thermique globale de la conduite.

[0015] Pour faire face à certains risques de défaillance des tuyaux intérieurs ou extérieurs, des conduites isolées avec une troisième enveloppe ont été proposés.

[0016] Les conduites à triple enveloppe présentent l'intérêt de fournir une double barrière en cas de fuite du tube transportant le fluide ou de rupture du tube extérieur. Ces constructions intègrent aussi des pièces de liaisons reliant et maintenant les différents tubes l'un dans l'autre dont la fonction est d'assurer le contrôle des contraintes thermomécaniques et des déplacements des différents tubes, générant cependant des ponts thermiques le long de la conduite et une perte thermique accrue.

[0017] Ainsi, une conduite pour le transport de GNL à triple enveloppe a été proposée par la demanderesse (FR 2862741). Elle est constituée d'un tube intérieur avec matériau à faible coefficient de dilatation thermique type Invar®, un tube intermédiaire en acier carbone ou acier inoxydable et un tube extérieur en acier carbone. Une isolation

thermique est placée dans l'espace annulaire interne ; une isolation supplémentaire pouvant être placée dans l'espace annulaire externe pour diminuer l'impact des ponts thermiques à l'endroit des pièces de jonction entre les tubes internes.

[0018] Le document US20150219243 détaille également une conduite triple pour le transport sur de longues distances de GNL selon le même agencement.

[0019] Une particularité de la cryogénie profonde est le besoin accru d'isolation thermique car l'efficacité du refroidissement diminue avec la température, ainsi il faut dépenser 10 W électrique pour fournir 1 W de refroidissement à 77K mais 40 W à 20K. L'impact économique d'un même coefficient d'échange thermique (exprimé en W/(m².K) est ainsi multiplié par 5 entre les deux températures (x4 pour l'efficacité, x 1,25 pour le différentiel de température). Une autre caractéristique est l'amplification des contraintes mécaniques liées aux phénomènes de dilatation et rétractation.

[0020] Un moyen connu d'améliorer la performance des isolants thermiques consiste à réduire la pression de gaz régnant dans l'espace annulaire. Or le maintien d'une pression basse est contrecarré par le fait que, l'hydrogène étant un gaz très diffusant, cette pression peut tendre à augmenter sur le long terme par diffusion au travers de la conduite interne. En outre, la fuite du liquide cryogénique dans l'espace annulaire interne, outre la perte de rendement, risque d'endommager l'isolant, réduisant ainsi les performances d'isolation thermique et, finalement, fragilisant la conduite.

[0021] Il est connu également une conduite triple pipe pour le transport de GNL du document FR2865262. Cette conduite présente également un isolant nanoporeux dans l'annulaire interne et des écarteurs pour protéger celui-ci contre son écrasement entre le tube interne et le tube intermédiaire. En outre, elle utilise du béton dans l'annulaire externe pour lester celui-ci. Ainsi, elle ne permet pas de résoudre le problème susmentionné.

[0022] La demanderesse a mis au point une nouvelle conduite à triple enveloppe, qui répond à ces problèmes et qui est particulièrement adaptée au transport de liquides cryogéniques et plus particulièrement à la cryogénie profonde. Cette conduite est utilisable aussi bien en milieu sous-terrain, sous-marin ou aérien. Le choix des matériaux utilisés pour ses différents éléments et l'agencement spécifique des différents éléments, permettent de réduire très fortement les contraintes thermomécaniques au sein de la conduite, rendant ainsi possible de générer des sections de conduite de l'ordre du kilomètre, libre de toute pièce de liaison. Dans la conduite selon l'invention, la présence de pièces de liaison pour éviter les contraintes thermomécaniques, n'est ainsi plus nécessaire qu'au niveau des coudes de ces conduites. Ainsi la conduite selon l'invention présente un rendement particulièrement amélioré, et est d'un assemblage particulièrement aisé et rapide. La conduite selon l'invention présente également une sécurité et une fiabilité particulièrement améliorée.

D'une part, en cas de fuite du liquide cryogénique au travers du tube interne, les performances thermiques de la conduite sont maintenues : en garantissant les mêmes conditions de températures à l'extérieur de la conduite, une fuite du tube conduisant le liquide cryogénique reste donc sans aucun impact à l'extérieur de la conduite. D'autre part, l'agencement tout à fait particulier de la conduite selon l'invention rend possible de l'associer à un dispositif de contrôle aux fins de détection de fuite du tube interne ou de la perméation au travers du tube interne. La structure simplifiée des sections de la conduite permet, le cas échéant, un remplacement facilité de la partie défectueuse.

[0023] La conduite telle que développée par la demanderesse permet donc de répondre aux problèmes techniques posés par les pipelines de l'art antérieur et par la croissance du marché du transport des liquides cryogéniques.

Résumé de l'invention

[0024] La demanderesse a mis au point une nouvelle conduite à triple enveloppe d'un assemblage aisé et rapide. Cette conduite, particulièrement adaptée au transport des liquides cryogéniques, est d'un rendement particulièrement élevé et présente une sureté améliorée.

[0025] Ainsi un objet de l'invention est une conduite adaptée au transport d'un liquide cryogénique, isolée thermiquement, caractérisée en ce qu'elle comprend

- trois tubes agencés l'un dans l'autre:
  - un tube interne constitué d'un matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égal à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$,
  - un tube intermédiaire constitué d'un matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égal à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$,
  - un tube externe constitué d'un acier au carbone, d'un acier inoxydable, ou d'un alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse,

lesdits trois tubes agencés l'un dans l'autre définissant un espace annulaire interne compris entre ledit tube interne et ledit tube intermédiaire et un espace annulaire externe compris entre ledit tube intermédiaire et ledit tube externe,

[0026] l'espace annulaire externe comprenant un isolant thermique microporeux à base de silice, l'espace annulaire interne ne comprenant pas de matériau isolant thermique

- des pièces de liaison reliant lesdits trois tubes agencés l'un dans l'autre deux à deux, localisées dans les espaces annulaires externe et interne, et munies d'au moins un orifice de manière à permettre la circulation de gaz dans les espaces annulaires interne et externe, les dites pièces étant constituées d'un matériau à coefficient de dilatation thermique inférieur ou égale à 2.10-6 m.m-1.K^{-1}, d' un acier inoxydable, d'un Inconel® ou d'un alliage austénitique comprenant 22 à 27 % en poids de manganèse,

dans le cas de pièces de liaison reliant des tubes constitués de matériaux aux coefficients thermiques différents, des pièces de transition tubulaires positionnées entre les pièces de liaison et au moins un des deux tubes, lesdites pièces de transition étant constituées d'un matériau de coefficient thermique intermédiaire à celui de la pièce de liaison et le tube sur lequel elle est positionnée.

[0027] Cette configuration particulière permet notamment de limiter l'utilisation d'éléments de flexibilité et d'absorption de dilatation entre les tubes intérieurs et intermédiaires à température cryogénique et le tube extérieur à température ambiante, tels que des soufflet ou lyre de dilatation.

[0028] La demanderesse a mis au point des éléments modulaires particulièrement adaptés à constituer la conduite selon l'invention, qui permettent en outre un assemblage rapide et aisé de celle-ci sur le lieu d'implantation.

[0029] Ainsi, un de ces éléments modulaires, autre objet de l'invention, est un tronçon de conduite adaptée au transport d'un liquide cryogénique caractérisé en ce qu'il comprend :

- trois tubes agencés l'un dans l'autre :
  - un tube interne constitué d'un matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égale à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$,
  - un tube intermédiaire constitué d'un matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égale à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$,
  - un tube externe constitué d'un acier au carbone, d'un acier inoxydable, ou d'un alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse,
- lesdits trois tubes agencés l'un dans l'autre définissant un espace annulaire interne compris entre ledit tube interne et ledit tube intermédiaire et un espace annulaire externe compris entre ledit tube intermédiaire et ledit tube externe,
- l'espace annulaire externe comprenant un isolant thermique microporeux à base de silice, l'espace annulaire interne ne comprenant pas de matériau isolant thermique,
- des pièces de liaison (9) reliant lesdits trois tubes agencés l'un dans l'autre (2, 3, 4) deux à deux, localisées dans les espaces annulaires externe (7) et interne (6), et munies d'au moins un orifice de manière à permettre la circulation de gaz dans les espaces annulaires interne (6) et externe (7), les dites pièces étant constituées d'un matériau à coefficient de dilatation thermique inférieur ou égale à 2.10-6 m.m-1.K 1, d' un acier inoxydable, d'un Inconel® ou d'un alliage austénitique comprenant 22 à 27 % en poids de manganèse,

– dans le cas de pièces de liaison (9) reliant des tubes constitués de matériaux aux coefficients thermiques différents, des pièces de transition tubulaires positionnées entre les pièces de liaison (9) et au moins un des deux tubes, lesdites pièces de transition étant constituées d'un matériau de coefficient thermique intermédiaire à celui de la pièce de liaison et le tube sur lequel elle est positionnée.

[0030] Un autre de ces éléments modulaires, également objet de l'invention, est un raccord pour conduite telle que décrite précédemment, le raccord étant caractérisé en ce qu'il comprend :

– trois tubes agencés l'un dans l'autre:

• un tube interne constitué d'un matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égale à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$,

• un tube intermédiaire constitué d'un matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égale à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$,

• un tube externe constitué d'un acier au carbone, d'un acier inoxydable, ou d'un alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse,

lesdits trois tubes agencés l'un dans l'autre définissant un espace annulaire interne compris entre ledit tube interne et ledit tube intermédiaire et un espace annulaire externe compris entre ledit tube intermédiaire et ledit tube externe,

[0031] l'espace annulaire externe comprenant un isolant thermique microporeux à base de silice,

– des pièces de liaison reliant lesdits trois tubes agencés l'un dans l'autre deux à deux, localisées dans les espaces annulaires externe et interne, munies d'au moins un orifice de manière à permettre la circulation de gaz dans les espaces annulaires, les dites pièces étant constituées d'un alliage à coefficient de dilatation inférieur ou égale à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$, d'un acier inoxydable, d'un Inconel®, ou d'un alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse),

dans le cas de pièces de liaison reliant des tubes constitués de matériaux aux coefficients thermiques différents, des pièces de transition tubulaires sont positionnées entre les pièces de liaison (9) et au moins un des deux tubes, lesdites pièces de transition étant constituées d'un matériau de coefficient thermique intermédiaire à celui de la pièce de liaison et le tube sur lequel elle est positionnée,

– au niveau de la pièce de liaison reliant ledit tube externe et ledit tube intermédiaire, une surcouche externe d'isolant thermique microporeux à base de silice, entourée d'un tube externe de liaison en acier au carbone, acier inoxydable, ou alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de

manganèse, ledit tube externe de liaison en étant soudé à ses extrémités au tube externe du raccord.

[0032] Un autre de ces éléments modulaires, également objet de l'invention, est un autre raccord pour conduite telle que décrite précédemment, le raccord étant caractérisé en ce qu'il comprend :

– trois tubes agencés l'un dans l'autre:

• un tube interne constitué d'un matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égal à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$,

• un tube intermédiaire constitué d'un matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égal à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$,

• un tube externe constitué d'un acier au carbone, d'un acier inoxydable, ou d'un alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse,

lesdits trois tubes agencés l'un dans l'autre définissant un espace annulaire interne compris entre ledit tube interne et ledit tube intermédiaire et un espace annulaire externe compris entre ledit tube intermédiaire et ledit tube externe,

[0033] l'espace annulaire externe comprenant un isolant thermique microporeux à base de silice,

– des pièces de liaison reliant lesdits trois tubes agencés l'un dans l'autre deux à deux, localisées dans les espaces annulaires externe et interne, munies d'au moins un orifice de manière à permettre la circulation de gaz dans les espaces annulaires, les dites pièces étant constituées d'un alliage à coefficient de dilatation inférieur ou égale à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$, d'un acier inoxydable, d'un Inconel®, ou d'un alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse),

dans le cas de pièces de liaison reliant des tubes constitués de matériaux aux coefficients thermiques différents, des pièces de transition tubulaires sont positionnées entre les pièces de liaison et au moins un des deux tubes, lesdites pièces de transition étant constituées d'un matériau de coefficient thermique intermédiaire à celui de la pièce de liaison et le tube sur lequel elle est positionnée,

– au niveau de la pièce de liaison reliant ledit tube externe et ledit tube intermédiaire, une couche d'isolant thermique au droit de ladite pièce de liaison est située dans l'annulaire intérieur.

[0034] Ce type de raccord présente l'avantage de permettre de maintenir une surface extérieure de la conduite de diamètre constant, sans surépaisseur même au niveau des raccords.

[0035] Un autre des éléments modulaires, également objet de l'invention, est un tronçon-embout pour une conduite selon l'invention, le tronçon-embout étant caractérisé en ce qu'il comprend:

- une première pièce de fermeture de l'espace annulaire externe soudée d'une part à un tube externe et d'autre part à un tube intermédiaire, ladite pièce comprenant une extrémité du tube intermédiaire adaptée à constituer un prolongement au tube intermédiaire de la conduite, et une extrémité du tube externe adaptée à constituer un prolongement au tube externe de la conduite,
- une deuxième pièce de fermeture de l'espace annulaire interne soudée d'une part à une extrémité du prolongement du tube intermédiaire de la pièce de fermeture de l'espace annulaire externe et d'autre part au tube interne, ledit tube interne comprenant une extrémité adaptée à constituer un prolongement au tube interne de la conduite,
- dans l'espace annulaire externe (7), une couche d'isolant thermique microporeux à base de silice,
- des pièces de liaison (9) reliant lesdits trois tubes agencés l'un dans l'autre (2, 3, 4) deux à deux, localisées dans les espaces annulaires externe (7) et interne (6), et munies d'au moins un orifice de manière à permettre la circulation de gaz dans les espaces annulaires interne (6) et externe (7), les dites pièces étant constituées d'un matériau à coefficient de dilatation thermique inférieur ou égale à 2.10-6 m.m-1.K-1, d' un acier inoxydable, d'un Inconel® ou d'un alliage austénitique comprenant 22 à 27 % en poids de manganèse,

dans le cas de pièces de liaison (9) reliant des tubes constitués de matériaux aux coefficients thermiques différents, des pièces de transition tubulaires positionnées entre les pièces de liaison (9) et au moins un des deux tubes, lesdites pièces de transition étant constituées d'un matériau de coefficient thermique intermédiaire à celui de la pièce de liaison et le tube sur lequel elle est positionnée.

[0036] Ce tronçon-embout permet, à chaque extrémité de la conduite, de clore les espaces annulaires interne et externe.

[0037] Un autre des éléments modulaires, également objet de l'invention, est un tronçon coudé pour une conduite telle que décrite précédemment, le tronçon coudé comprenant :

- trois tubes agencés l'un dans l'autre :
- un tube interne constitué d'un matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égal à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$,

- un tube intermédiaire constitué d'un matériau à coefficient de dilatation thermique d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égal à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$,
- un tube externe constitué d'un acier au carbone, d'un acier inoxydable, ou d'un alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse,

lesdits trois tubes agencés l'un dans l'autre définissant un espace annulaire interne compris entre ledit tube interne et ledit tube intermédiaire et un espace annulaire externe compris entre ledit tube intermédiaire et ledit tube externe,

- l'espace annulaire externe comprenant un isolant thermique microporeux à base de silice,

– lesdits tubes agencés l'un dans l'autre présentant une courbure selon un angle compris entre 30° et 90°

– des pièces de liaison (9) reliant lesdits trois tubes agencés l'un dans l'autre (2, 3, 4) deux à deux, localisées dans les espaces annulaires externe (7) et interne (6), et munies d'au moins un orifice de manière à permettre la circulation de gaz dans les espaces annulaires interne (6) et externe (7), les dites pièces étant constituées d'un matériau à coefficient de dilatation thermique inférieur ou égale à 2.10-6 m.m-1.K-1, d' un acier inoxydable, d'un Inconel® ou d'un alliage austénitique comprenant 22 à 27 % en poids de manganèse,

dans le cas de pièces de liaison (9) reliant des tubes constitués de matériaux aux coefficients thermiques différents, des pièces de transition tubulaires positionnées entre les pièces de liaison (9) et au moins un des deux tubes, lesdites pièces de transition étant constituées d'un matériau de coefficient thermique intermédiaire à celui de la pièce de liaison et le tube sur lequel elle est positionnée.

[0038] Ce tronçon coudé permet d'introduire des changements de direction dans la conduite à triple enveloppe, en fonction, par exemple, du terrain sur ou dans lequel elle est implantée.

[0039] Selon d'autres caractéristiques optionnelles chacun de ces différents objets peut inclure, facultativement et indépendamment, une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, seules ou en combinaison :

– le matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égale à 2.10-6 $m.m^{-1}.K^{-1}$ constituant le tube interne et/ou le tube intermédiaire est un alliage fer-nickel comprenant de 34,0 % à 38,0 % de nickel, de préférence de 35,0 % à 37,0 % de nickel, voire de 35,5 % à 36.5 % de nickel,

- les pièces de liaison ou de fermeture sont constituées d'un alliage fer-nickel comprenant de 34,0 % à 38,0 % de nickel, de préférence de 35,0 % à 37,0 % de nickel, voire de 35,5 % à 36.5 % de nickel,
- le tube interne et/ou le tube intermédiaire ont une épaisseur d'au moins 3 mm,
- l'isolant thermique microporeux a une densité comprise entre 40 $kg.m^{-3}$ et 250 $kg.m^{-3}$, entre 70 $kg.m^{-3}$ et 190 $kg.m^{-3}$, de préférence entre 100 $kg.m^{-3}$ et 160 $kg.m^{-3}$, et/ou
- l'isolant thermique microporeux à base de silice comprends au moins 50 % de silice, au moins 60 % de silice, de préférence au moins 70 % de silice.

[0040] Selon d'autres caractéristiques optionnelles, la conduite selon l'invention peut inclure, facultativement et indépendamment, une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, seules ou en combinaison :

- la conduite comprend un segment d'au moins 10 m, d'au moins 50 m, 100 m, 1 km, 5 km, 10 km voire d'au moins 15 km dans lequel les espaces annulaire externe et interne ne contiennent pas de raccord, notamment pas de raccord tels que décrits précédemment.
- la conduite comprend un tronçon coudé tel que décrit précédemment et un des raccords décrits précédemment placé en amont et en aval du dit tronçon coudé,
- un gaz est mis en circulation dans l'espace annulaire interne, ledit gaz ayant, à la pression de circulation dans l'espace annulaire interne, une température de liquéfaction inférieure au liquide cryogénique transporté dans la conduite,
- une extrémité de laquelle est couplée à au moins un moyen d'analyse du gaz en circulation dans l'espace annulaire interne, ou
- la pression dans l'annuaire externe (7), à température ambiante, avant mise en froid de la conduite, est inférieure ou égale à 10 mbar.

Brève description des figures

[0041] D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaitront à la lecture de la description suivante donnée à titre d'exemple illustratif et non limitatif, en référence aux Figures annexées.

[0042] [Fig.1] La [Fig.1] représente une section d'un tronçon 1 de conduite selon un mode de réalisation de la présente invention.

[0043] [Fig.2] La [Fig.2] représente un tronçon-embout 30 pour conduite selon un mode de réalisation de la présente invention.

[0044] [Fig.3] La [Fig.3] représente un raccord 20 pour raccorder des tronçons 1 de conduite selon un mode de réalisation la présente invention. L'espace blanc entre les deux

pièces de liaison 9 est de pure convention pour signaler que ces deux pièces sont distinctes ; ces deux pièces ainsi que tous les éléments du raccord 20 sont bien entendus soudés entre eux.

[0045] [Fig.4] La [Fig.4] représente un raccord 21 pour raccorder des tronçons 1 pour conduite selon un autre mode de réalisation de la présente invention dite liaison à baïonnette. L'espace blanc entre les deux pièces de liaison 9 est de pure convention pour signaler que ces deux pièces sont distinctes ; ces deux pièces ainsi que tous les éléments du raccord 21 sont bien entendus soudés entre eux.

[0046] [Fig.5] La [Fig.5] représente une vue en coupe transversale d'un tronçon 1 de conduite selon un mode de réalisation de la présente invention.

[0047] Les échelles relatives des différents objets ou éléments ne sont pas respectées pour en permettre la bonne visualisation. Les figures présentées ici sont purement illustratives.

Description de modes de réalisation

[0048] Le principe inventif de la présente invention repose sur la configuration intégrée de trois tubes agencés l'un dans l'autre, combinée à un isolant thermique microporeux disposé dans l'espace annulaire externe. Ce concept technique unique permet d'obtenir une isolation optimale et une réduction significative des contraintes thermomécaniques sur de longues distances. Toutes les variantes d'assemblage proposées, telles que les raccords, tronçons coudés et embouts, constituent des adaptations spécifiques du principe inventif de base, lequel repose sur une structure de trois tubes agencés avec un isolant thermique microporeux dans l'espace annulaire externe. Ces adaptations permettent de répondre à des exigences d'assemblage, de flexibilité et d'intégration dans des configurations d'implantation particulières, tout en conservant l'effet technique global d'une isolation optimale et d'une réduction des contraintes thermomécaniques.

[0049] Le terme « **conduite** » au sens de la présente invention fait référence à un ensemble permettant de véhiculer un ou plusieurs fluides ou produits fluidifiés d'un point A à un point B. Dans un mode de réalisation particulier, la conduite selon l'invention permet le transport à terre, enterré ou aérien, ou en mer, d'un ou plusieurs fluides ou produits liquéfiés d'un réservoir fixe vers un réservoir mobile dans un terminal dit d'export ou d'un réservoir mobile vers un réservoir fixe dans un terminal d'import. Un exemple de réservoir mobile peut être un navire transportant les dits fluides ou produits liquéfiés sur des distances intercontinentales. Comme évoqué ci-après les conduites selon l'invention sont particulièrement adaptées au transport des liquides cryogéniques, tels que l'azote liquide, l'oxygène liquide, l'argon liquide, l'hélium, le Gaz Naturel Liquéfié (GNL), ou encore l'hydrogène liquide. Les termes « conduite » et « pipeline » sont ici interchangeables et peuvent être utilisés indifféremment.

[0050] Le terme « **tube** » selon le sens de la présente invention fait référence à un tuyau ou à un conduit permettant de véhiculer un fluide ou un mélange de fluides, et/ou pouvant également comprendre dans sa lumière un autre tube et/ou un autre matériau. La conduite selon la présente invention est ainsi constituée de plusieurs tubes agencés l'un dans l'autre.

[0051] Le nom « **annulaire** » ou les termes « **espace annulaire** » sont utilisés indifféremment. Au sens de la présente invention, ils font référence à l'espace formé entre deux tubes agencés l'un dans l'autre, ledit espace pouvant recevoir une circulation de fluide et/ou être rempli d'un matériau.

[0052] Le terme « **fluide cryogénique** » selon la présente invention se réfère à des liquides cryogéniques tels que l'azote liquide, l'oxygène liquide, l'argon liquide, l'hélium liquide, le Gaz Naturel Liquéfié (GNL), ou encore l'hydrogène liquide. Dans un mode de réalisation préféré, les liquides cryogéniques ont une température inférieure à celle de l'azote liquide (-196°C/77 K, températures dites de cryogénie profonde). Dans un autre mode de réalisation préféré, le fluide cryogénique est l'hydrogène liquide ou l'hélium liquide. Dans un mode de réalisation encore plus préféré, le fluide cryogénique est l'hydrogène liquide (liquide à 20 K). Les termes fluides cryogéniques et liquides cryogéniques sont utilisés ici indifféremment et sont interchangeables.

[0053] Le terme « **coefficient de dilatation thermique** » est bien connu dans l'art et constitue une mesure du changement réversible de volume ou de longueur d'un matériau avec la température. Comme mentionné ci-dessus, le contact avec des fluides cryogéniques qui présentent des températures particulièrement basses peut générer des phénomènes des rétractation ou d'expansion des matériaux qui génèrent des contraintes mécaniques sur les éléments qu'ils constituent.

[0054] A moins qu'il n'en soit disposé autrement, les intervalles mentionnés s'entendent bornes comprises. Ainsi, par exemple, une grandeur décrite comme étant comprise entre 5 et 10 ou allant de 5 à 10 pourra avoir comme valeur 5 ou 10. Par exemple, à moins qu'il n'en soit disposé autrement, une grandeur décrite comme inférieure ou supérieure à 10 pourra avoir comme valeur 10.

[0055] Un premier objet de l'invention est donc la conduite telle que développée par la demanderesse qui présente une efficacité thermique et une sûreté particulièrement améliorée.

[0056] Conduite isolée thermiquement adaptée au transport de fluide cryogénique

[0057] La conduiteselon l'invention estisolée et thermiquement adaptée au transport d'un fluide ou un mélange de fluides, de préférence cryogéniques, est telle que mentionnée ci-dessus ; certains modes de réalisation sont décrits plus précisément ci-après.

[0058] Une conduite selon la présente invention se présente dans une configuration triple tubes ou, en terminologie anglosaxonne, pipe-in-pipe-in-pipe (PIPIP). Ainsi, une

conduite selon la présente invention comprend trois tubes 2, 3, 4 agencés l'un dans l'autre tel que cela est illustré à la [Fig.1] et à la [Fig.5].

[0059] Une conduite selon la présente invention comprend ainsi un premier tube, dit tube interne 2, définissant une lumière (ou espace interne) 5 destinée à la circulation d'un fluide cryogénique.

[0060] Le tube interne 2 est adapté au transport d'un ou plusieurs fluides, de préférence cryogéniques. Ainsi, le tube interne 2 est adapté à transporter un fluide cryogénique ou un mélange de fluides cryogéniques à une température inférieure ou égale à -160°C, de préférence inférieure ou égale à -190°C. De manière particulièrement préférée le tube interne 2 est adapté à transporter un fluide cryogénique ou un mélange de fluides cryogéniques à une température inférieure ou égale à -250°C.

[0061] Le tube interne 2 est ainsi adapté au transport de fluides cryogéniques tels que le gaz naturel liquéfie (GNL), l'azote liquide, l'oxygène liquide, l'argon, l'hydrogène liquide ou l'hélium liquide, de manière préférée l'hydrogène liquide ou l'hélium liquide.

[0062] Le tube interne 2 est constitué d'un matériau ayant un faible coefficient de dilatation thermique, de préférence un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égal à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$. Quand le tube interne 2 est en opération dans la conduite, c'est-à-dire lors de la circulation d'un fluide cryogénique dans l'espace interne 5 (ou lumière) du tube interne 2, utiliser un matériau d'un tel coefficient de dilatation thermique permet d'éviter que les contraintes mécaniques supérieures engendrées lors des phénomènes de rétractation soient supérieures à la limite élastique du matériau sans qu'il soit nécessaire d'ajouter des éléments de flexibilité longitudinale tels que des soufflets ou des lyres de dilatation à l'instar des autres conduites de l'art antérieur. Cela permet ainsi d'éviter des ruptures du tube interne 2 de la conduite et prolonge sa durée de vie

[0063] Ainsi, le matériau constituant le tube interne 2 peut être un alliage de fer-nickel comprenant au moins 34,0 % de nickel, de préférence au moins 35,0 % de nickel et de manière encore plus préférée au moins 36,0 % de nickel. Dans un mode de réalisation encore préféré, le matériau constituant le tube interne 2 peut être un alliage de fer-nickel comprenant de 34,0 % à 38,0 % de nickel, de préférence de 35,0 % à 37,0 % de nickel, voire de 35,5 % à 36.5 % de nickel. Dans un mode de réalisation particulièrement préféré, ledit alliage fer-nickel comprend 36.0 % de nickel. Dans un autre mode de réalisation particulièrement préféré, ledit alliage fer-nickel est un Invar®. Les invars présentent des coefficients de dilatation particulièrement adaptés au transport de fluides cryogéniques. Également, les alliages de type Invar® ont certaines des propriétés mécaniques, telles que la limite d'élasticité et la résistance à la traction, qui sont supérieures aux températures cryogéniques par rapport à celles mesurées à température ambiante. Un dimensionnement mécanique du tube réalisé avec les

propriétés mécaniques de l'Invar® à température ambiante est donc conservateur pour une ligne cryogénique. Dans une volonté d'optimiser le dimensionnement en réduisant l'épaisseur du tube Invar® pour une application cryogénique, il peut être considéré d'utiliser les propriétés mécaniques de l'Invar® à la température cryogénique pour adapter les dimensionnements des éléments de la conduite afin d'optimiser ses couts de production et ses performances.

[0064] Considérant que la conduite peut être exposée à des températures variables, et que les propriétés des matériaux varient selon la température à laquelle ils sont exposés, le tube interne 2 selon la présente invention présente une épaisseur de 3,0 mm à 15,0 mm, pour des tubes internes 2 d'un diamètre typiquement compris entre 88,9 mm et 914,0 mm, ce qui correspond à un dimensionnement prenant en compte des propriétés physiques d'un matériau de type Invar® à température ambiante ou cryogéniques. Comme exposé précédemment, certaines propriétés mécaniques des alliages de type Invar®, telles que la limite d'élasticité et la résistance à la traction, sont meilleures à températures cryogéniques qu'à température ambiante. Ainsi dans un mode de réalisation, considérant les températures cryogéniques ; le tube interne 2 a une épaisseur comprise entre 3,0 mm et 5,0 mm. Une telle épaisseur permet de faire des économies de ressources considérant les propriétés améliorées de l'Invar® aux température cryogéniques.

[0065] Pour des raisons de sécurité évidente et assurer une étanchéité optimale du tube interne 2 qui est au contact direct du fluide cryogénique, il peut être néanmoins préférable que le tube interne 2 ait une épaisseur comprise entre 5,0 mm et 10,0 mm, pour des tubes internes 2 d'un diamètre typiquement compris de 88,9 mm et 914,0 mm ; cette épaisseur correspond à un dimensionnement déterminé à partir des propriétés physiques du matériau de type Invar® à température ambiante.

[0066] Une conduite selon la présente invention comprend un deuxième tube, dit tube intermédiaire 3, ledit tube intermédiaire 3 étant agencé autour du tube interne 2. Ainsi, la paroi interne du tube intermédiaire 3 et la paroi externe du tube interne 2 définissent un espace annulaire interne 6.

[0067] Le tube intermédiaire 3 est constitué d'un matériau ayant un faible coefficient de dilatation thermique, de préférence un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égal à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$.

[0068] Ainsi, le matériau constituant le tube intermédiaire 3 peut être un alliage de fer-nickel comprenant au moins 34,0 % de nickel, de préférence au moins 35,0 % de nickel et de manière encore plus préférée au moins 36,0 % de nickel. Dans un mode de réalisation particulier, le matériau constituant le tube intermédiaire 3 peut être un alliage de fer-nickel comprenant de 34,0 % à 38 % de nickel, de préférence de 35,0 %

à 37,0 % de nickel, voire de 35,5 % à 36.5 % de nickel. Dans un mode de réalisation particulièrement préféré, ledit alliage fer-nickel comprend 36.0 % de nickel. Dans un mode de réalisation particulièrement préféré, ledit alliage fer-nickel est un Invar®.

[0069] Dans un mode de réalisation préféré, les tubes interne 2 et intermédiaire 3 sont constitués de matériaux de coefficients de dilatation thermique identiques. Dans un mode réalisation encore plus préféré, les tubes interne 2 et intermédiaire 3 sont constitués du même matériau. Dans un mode de réalisation encore plus préféré, les tubes interne 2 et intermédiaire 3 sont constitués d'un même Invar®.

[0070] Le tube intermédiaire 3 de la conduite selon la présente invention présente une épaisseur de 3,0 mm à 10,0 mm, pour des tubes intermédiaires 3 de diamètre typiquement compris entre 88,9 mm et 914,0 mm. Ainsi dans un mode de réalisation, considérant les propriétés mécaniques aux températures cryogéniques ; le tube intermédiaire 3 a une épaisseur comprise entre 3,0 mm et 5,0 mm.

[0071] Pour les mêmes raisons de sécurité que celles évoquées pour le tube interne 2, il peut être néanmoins préférable que le tube intermédiaire 3 ait une épaisseur comprise entre 5,0 mm et 10,0 mm, pour des tubes intermédiaires 3 d'un diamètre typiquement compris entre 88,9 mm et 914, mm; cette épaisseur correspond à un dimensionnement déterminé à partir des propriétés physiques du matériau de type Invar® à température ambiante.

[0072] Dans une configuration particulière de la conduite selon l'invention, le tube interne 2 et le tube intermédiaire 3 sont constitués d'un Invar®, et ledit tube interne 2 a une épaisseur comprise entre 5,0 et 10,0 mm et ledit tube intermédiaire 3 a une épaisseur comprise entre 3,0 et 5,0 mm. C'est-à-dire que les dimensionnements des tubes interne 2 et intermédiaire 3, sont réalisés en tenant compte des propriétés mécaniques de l'Invar® à température ambiante et à température cryogénique respectivement. Une telle configuration présente l'avantage de respecter les impératifs de sûreté en fournissant une épaisseur particulièrement importante pour le tube interne dans lequel circule le fluide cryogénique tout en optimisant les coûts du fait de l'utilisation d'une quantité moindre de matériau pour le tube intermédiaire 3. Il est en effet à considérer que des matériaux à coefficient de dilatation thermique inférieur ou égal à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$, notamment les Invar®, sont d'un coût relativement élevé par rapport, notamment, aux aciers inoxydables, habituellement utilisés pour la cryogénie. Dans le cas accidentel d'une fuite du tube interne 2 en opération, le tube intermédiaire 3 devra alors résister à la pression du fluide cryogénique alors qu'il sera déjà en température cryogénique.

[0073] L'espace annulaire interne 6 participe du double confinement du fluide cryogénique conféré par la conduite selon l'invention, notamment en cas de fuite ou d'altération du

tube interne 2. Il contribue également à la bonne isolation du tube interne 2. Cet espace annulaire interne 6 selon l'invention ne comprend cependant pas de matériau isolant thermique. Dans la conduite selon l'invention, l'espace annulaire interne 6 est ainsi dédié à la préservation de l'intégrité du système : il permet notamment la mise en place d'un ou plusieurs moyens permettant :

[0074] – L'élimination par pompage du gaz perméant de la veine fluide vers l'annulaire interne, la conduite est alors pourvue de tels moyens de pompage permettant d'évacuer le gaz perméant ; et/ou

[0075] – La surveillance de la pression au sein de cet annulaire, une augmentation de pression étant un signe d'une fuite du fluide au travers du tube interne 2 ; ainsi la conduite selon l'invention peut être pourvue de senseurs permettant de détecter une augmentation de pression dans l'annulaire interne 6 ; et/ou

[0076] – Le balayage de l'annulaire interne 6 par un gaz vecteur, associé à une détection, pour identifier plus rapidement une éventuelle perméation du fluide cryogénique vers l'annulaire interne ; la conduite est alors associée avec des moyens de mise en circulation du dit gaz vecteur ainsi qu'éventuellement des moyens d'analyse de celui-ci, par exemple par spectrométrie de masse, pour identifier précocement tout événement de fuite. Dans un mode de réalisation particulier, le balayage est opéré en continu et en boucle et la pression dans l'annulaire interne 6 est maintenue suffisamment basse pour qu'il n'y ait pas de condensation du fluide cryogénique transporté dans l'annulaire interne 6. Il est bien entendu que le gaz vecteur est choisi parmi les gaz ayant une température de liquéfaction, à la pression à laquelle l'espace annulaire interne 6 est soumis, inférieure à celle du fluide cryogénique transporté par le tube interne 2. Ainsi, par exemple si le fluide cryogénique transporté par la conduite dans la lumière du tube interne 2 est l'hydrogène liquide (température de liquéfaction -253°C/20 K), l'hélium pourra être choisi comme gaz vecteur (température de liquéfaction -269°C/4,13 K).

[0077] Ceci n'est cependant pas incompatible avec une présence localisée de panneaux thermiquement isolants au niveau de certains raccords 21 tels que décrits plus bas. Les conduites 100 comprenant ces raccords 21 restent néanmoins constituées de segments d'au moins 10 m, au moins 50 m, au moins 100 m, au moins 1 km, au moins 5 km, au moins 10 km, au moins 15 km, voire plus, dans lesquels l'espace annulaire interne 6 ne comprend pas de matériau isolant thermique.

[0078] Une conduite selon la présente invention comprend un troisième tube, dit tube externe 4, ledit tube externe 4 étant agencé autour du tube intermédiaire 3. Ainsi, la paroi interne du tube externe 4 et la paroi externe du tube intermédiaire 3 définissent un espace annulaire dénommé espace annulaire externe 7, et les tubes interne 2, intermédiaire 3 et externe 4 sont agencés l'un dans l'autre successivement.

[0079] Le tube externe 4 est constitué d'un acier au carbone, d'un acier inoxydable, ou encore d'un alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse. L'utilisation d'un Invar® est possible ; elle n'est cependant pas nécessaire pour assurer le transport dans de bonnes conditions d'un fluide cryogénique et est aujourd'hui non souhaitable du fait du coût élevés de tels alliages.

[0080] L'espace annulaire externe 7 de la conduite joue un rôle essentiel dans l'isolation de la conduite et assure un rendement optimal de la conduite. L'espace annulaire externe 7 comprend un isolant thermique 8 microporeux à base de silice arrangé autour du tube intermédiaire 3, et est soumis à une pression réduite, mesurée à température ambiante, inférieure ou égale à 20,0 mbar, de préférence inférieure ou égale à 10 mbar, inférieure ou égale à 5,0 mbar, inférieure ou égale à 1 mbar, voire même inférieure ou égale à 0,1 mbar. Il est bien entendu qu'il est particulièrement avantageux d'établir la pression la plus basse possible dans l'espace annulaire 7. Evidemment, cette pression établie à température ambiante est appelée à diminuer lors de la mise en service (ou mise en froid) de la conduite pour le transport d'un fluide cryogénique. Ainsi dans un mode de réalisation particulier, la pression dans l'annulaire externe 7, à température ambiante, avant mise en froid de la conduite, est comprise entre 0,1 mbar et 10 mbar.

[0081] Avantageusement, l'isolant thermique 8 microporeux à base de silice est suffisamment rigide pour résister d'une part à la pression générée par la masse du tube interne 2 quand il est rempli de fluide cryogénique et d'autre part à la masse tube intermédiaire 3. Cela permet de ne pas utiliser des écarteurs additionnels pour maintenir le tube intermédiaire 3 dans le tube externe 4 ; l'isolant 8 étant suffisamment résistant pour jouer lui-même le rôle d'écarteur entre le tube intermédiaire 3 et le tube externe 4. Dans un mode de réalisation, l'isolant thermique 8 microporeux à base de silice a une densité inférieure ou égale à 250 kg/m^3, de préférence inférieure ou égale à 220 kg/m^3, inférieure ou égale à 180 kg/m^3 , inférieure ou égale à 150 kg/m^3, voire même inférieure ou égale à 100 kg/m^3. Dans un autre mode de réalisation, l'isolant thermique 8 microporeux à base de silice a une densité comprise entre 40 $kg.m^{-3}$ et 250 $kg.m^{-3}$, entre 70 $kg.m^{-3}$ et 190 $kg.m^{-3}$, de préférence entre 100 $kg.m^{-3}$ et 160 $kg.m^{-3}$. Dans un mode de réalisation préféré, l'isolant thermique 8 microporeux à base de silice comprends au moins 50 % de silice, au moins 60 % de silice, de préférence au moins 70 % de silice. Dans un mode de réalisation préféré, l'isolant thermique 8 microporeux à base de silice est de l'Izoflex®.

[0082] Idéalement, l'épaisseur de l'annulaire interne est réduite pour diminuer l'encombrement de la conduite et diminuer les couts d'approvisionnement des tubes en acier. En effet, le cout d'un tube en acier est proportionnel à sa masse qui est elle-même fonction de son diamètre et de son épaisseur. Dans un mode de réalisation,

l'épaisseur de l'espace annulaire interne est inférieure à 100 mm, de préférence inférieure à 50 mm, voire inférieure à 10 mm.

[0083] L'épaisseur de la couche d'isolant thermique 8 est comprise entre 40 et 150 mm, de préférence entre 50 et 120 mm de manière préférée entre 60 et 90mm.

[0084] Des écarteurs peuvent être placés entre les tubes 2 et 3 pour permettre la soudure efficace entre d'une part chacun des tubes 2 et d'autre part chacun des tubes 3 de tronçons 1 successifs.

[0085] Cet agencement et la nature des tubes 2, 3, 4, des espaces 6 et 7 et de l'isolant microporeux 8 à base de silice ont pour effet de minimiser les contraintes mécaniques et thermiques générées par l'exposition au température environnementales et des fluides cryogéniques et, par là, permettent d'envisager des segments de conduites 100 sans pièces intermédiaires qui viseraient à diminuer ces contraintes en atténuants les effets de dilatation et rétractation. Cela permet d'envisager, quand le terrain et les conditions d'implantation de la conduite le permettent, des segments de conduite constitués de plusieurs tronçons 1 de conduite et longs de plusieurs mètres, voire au moins 10 m, au moins 50 m, au moins 100 m, au moins 1 km, au moins 5 km, au moins 10 km, au moins 15 km, voire plus. Cela est particulièrement avantageux en termes de coût et de rapidité d'assemblage. En effet, la conduite selon l'invention est un assemblage de différents éléments dont des tronçons 1 de conduite reprenant la structure décrite ci-dessus et illustrée à la [Fig.1]. Ces tronçons 1 unitaires peuvent avoir une longueur comprise entre 10 m à 50 m. Ils sont avantageusement assemblés en atelier et transportés puis utilisés pour construire, sur le lieu de son implantation, la conduite. Dans les segments constitués de plusieurs tronçons 1 de conduite, chacun des tubes 2, 3, 4 de chaque tronçon 1 sont simplement soudés bout à bout pour constituer un segment de plus grande longueur comme il est exposé plus bas, présentant bien entendu une continuité de la lumière du tube interne 2 et également une continuité de l'espace annulaire interne 6 et de l'espace annulaire externe 7, c'est-à-dire raccord (notamment sans raccord 20,21) dans ces espaces annulaires. Une telle continuité est particulièrement avantageuse.

[0086] Ainsi la conduite selon l'invention est avantageusement constituée d'éléments modulaires préassemblés en atelier et transportés puis assemblés sur le lieu d'implantation de la conduite.

[0087] Ainsi une conduite selon l'invention peut être un assemblage de plusieurs des éléments modulaires suivants :

- tronçon 1 de conduite tel qu'illustré sur la [Fig.1],
- tronçon-embout 30 pour conduite tel qu'illustré à la [Fig.2] qui a pour rôle de fermer les espaces annulaires 6 et 7 aux extrémités de la conduite,

- raccords 20 ou raccords 21 (illustrés à la [Fig.3] et 4 respectivement), situés au moins en amont et en aval des zones coudées de la conduite ; ces pièces permettent de réduire les contraintes thermomécaniques qui s'opèrent particulièrement dans ces régions,
- tronçon coudé selon un angle déterminé qui permettent de changer l'orientation de la conduite en fonction, par exemple, du terrain et/ou des contraintes relatives à son lieu d'implantation.

[0088] Dans chacun de ces éléments se retrouvent des tubes 2, 3, 4 ainsi que des espaces annulaires 6, 7 qui sont agencés en continuité les uns des autres dans la conduite.

[0089] Outre les tronçons de conduite 1 décrits ci-dessus et illustrés [Fig.1], une conduite selon la présente invention comprend également au moins deux tronçon-embouts 30 (visible sur la [Fig.2]) à chaque extrémité. Ce tronçon-embout 30 permet de sceller les extrémités de la conduite au niveau de la terminaison de la conduite. Ce tronçon-embout 30 est avantageusement assemblé en atelier puis transporté et soudé sur le lieu d'installation de la conduite.

[0090] Ce tronçon-embout 30 pour une conduite, comprend:

- Une première pièce de fermeture 12 de l'espace annulaire externe 7 soudée d'une part à un tube externe 4 et d'autre part à un tube intermédiaire 3, ladite pièce comprenant une extrémité du tube intermédiaire 3 adaptée à constituer un prolongement au tube intermédiaire 3 de la conduite, et une extrémité du tube externe 4 adaptée à constituer un prolongement au tube externe 4 de la conduite,
- Une deuxième pièce de fermeture 12 de l'espace annulaire interne 6 soudée d'une part à une extrémité du prolongement du tube intermédiaire 3 de la pièce de fermeture de l'espace annulaire externe 7 et d'autre part au tube interne 2, ledit tube interne 2 comprenant une extrémité adaptée à constituer un prolongement au tube interne 2 de la conduite,
- dans l'espace annulaire externe 7, une couche d'isolant thermique 8 microporeux à base de silice.

[0091] Dans un mode de réalisation, les pièces de fermeture 12 de l'espace annulaire externe 7 et de l'espace annulaire interne 6 sont indépendamment l'une de l'autre constituées d'un matériau à coefficient de dilatation thermique inférieur ou égale à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$, d' acier inoxydable, d'un Inconel® ou d'un alliage austénitique comprenant 22 à 27 % en poids de manganèse. Au sein d'un même tronçon-embout 30, les pièces de fermeture 12 peuvent être chacune constituées d'un matériau aux propriétés de dilatation similaires (c'est-à-dire compatibles et considérées comme proches par la personne du métier) ou identiques, de préférence identiques. Dans un mode de

réalisation préféré, au sein du même tronçon-embout 30, elles sont constituées d'un matériau de composition identique. Dans un autre mode de réalisation la première et la deuxième pièce de fermeture sont d'un seul tenant. Dans ce mode particulier, ladite extrémité du tube interne 2 dépasse en projection l'extrémité du tube intermédiaire 3 qui elle-même dépasse en projection l'extrémité du tube externe 4, ce de manière à faciliter les opération de soudure. Dans un mode de réalisation préféré, le matériau à coefficient de dilatation thermique inférieur ou égale à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$ est un alliage de fer-nickel comprenant au moins 34,0 % de nickel, de préférence au moins 35,0 % de nickel et de manière encore plus préférée au moins 36,0 % de nickel. Dans un mode de réalisation particulièrement préféré, ledit alliage fer-nickel comprend 36.0 % de nickel. Dans un mode de réalisation également préféré, ce peut être un alliage de fer-nickel comprenant de 34,0 % à 38,0 % de nickel, de préférence de 35,0 % à 37,0 % de nickel, voire de 35,5 % à 36.5 % de nickel. Dans un mode de réalisation particulièrement préféré, ledit alliage fer-nickel est un Invar®.

[0092] Dans un mode de réalisation préféré, les extrémités des tubes 2, 3 et 4 du tronçon-embout 30 sont constituées du même matériau que les extrémités des tubes 2, 3, et 4 de la conduite auxquelles elles sont destinées à être raccordées par soudure dans le procédé détaillé ci-dessous. Bien évidemment, les dimensions des différents éléments du tronçon-embout 30 sont de dimensions adaptées pour être raccordées à l'extrémité de la conduite.

[0093] Dans un mode de réalisation particulier du tronçon-embout 30 selon l'invention, une couche d'isolant thermique 8 est présente dans l'espace annulaire interne 6. Cette couche vise à compléter l'isolation de la conduite sur la partie du tronçon-embout 30 non couverte par l'espace annulaire externe 7 comprenant une couche d'isolant thermique 8. Dans un mode de réalisation préféré, cette couche d'isolant thermique 8 présente dans l'annulaire interne 6 du tronçon-embout 30 s'étend également en partie sous la couche d'isolant thermique 8 de l'espace annulaire externe 7, permettant ainsi une isolation optimale au niveau de l'extrémité de la conduite. En d'autres termes, la couche d'isolant thermique 8 se situe au droit de ladite pièce de fermeture 12 dans l'annulaire interne 6.

[0094] Une conduite peut également comporter au moins un tronçon coudé. On comprendra aisément que les tronçons coudés sont rendus nécessaires pour permettre à la conduite de suivre le parcours défini d'un point A à un point B, en tenant compte par exemple des conditions de terrain, en modifiant l'orientation de la conduite selon un angle défini. Typiquement, le tronçon coudé comprend les mêmes éléments que ceux décrits ci-dessus pour le tronçon 1 de conduite, à la différence que chacun des tube 2, 3, 4 d'un même tronçon coudé présente un angle identique compris entre 30° et 90°. De

manière préférée les tubes 2, 3 et 4 du tronçon coudé sont constitués du même matériau les tubes 2, 3, et 4 de la conduite auxquelles elles sont destinées à être raccordées par soudure dans le procédé détaillé ci-dessous. De la même manière également, l'espace annulaire externe 7 comprend un isolant thermique 8 microporeux à base de silice, Bien évidemment, les dimensions diamétrales des différents éléments du tronçon coudé sont de dimensions adaptées aux dimensions diamétrales des différents éléments de la conduite.

[0095] Comme évoqué, bien que les tronçons de conduite 1 de la conduite selon l'invention soient particulièrement adaptés pour limiter les contraintes thermomécaniques induites dans la conduite, la présence de coudes (autrement dits, des zones où la conduite est incurvée) accentue ces contraintes dans les zones qui les contiennent et rend nécessaire la présence de raccords 20,21, tels que décrits précédemment dans la partie résumé, situés en amont et en aval des coudes.

[0096] Un raccord 20 adapté à la conduite de l'invention est tel que décrit à la [Fig.3]. Ce raccord 20 est avantageusement assemblé en atelier puis transporté et soudé sur le lieu d'installation de la conduite.

[0097] Typiquement, le raccord 20 comprend les mêmes éléments que ceux décrits ci-dessus pour le tronçon de conduite 1. De manière préférée, les tubes 2, 3 et 4 du raccord 20 sont constitués du même matériau les tubes 2, 3, et 4 de la conduite auxquelles elles sont destinées à être raccordées par soudure dans le procédé détaillé ci-dessous. Bien évidemment, les dimensions diamétrales des différents éléments du raccord sont de dimensions adaptées aux dimensions diamétrales des différents éléments de la conduite auxquels le raccord 20 est destiné à être raccordé.

[0098] Le raccord 20 comprend en outre des pièces de liaison 9 reliant les tubes agencés 2, 3, 4 deux à deux, localisées dans les espaces annulaires externe 7 et interne 6. Elles sont munies d'au moins un orifice de manière à permettre la circulation de gaz dans les espaces annulaires 6, 7, les dites pièces étant constituées d'un matériau sélectionné parmi un alliage à coefficient de dilatation inférieur ou égal à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$, un acier inoxydable, un Inconel®, un alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse. Dans un mode de réalisation préféré, le matériau à coefficient de dilatation thermique inférieur ou égale à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$ est un alliage de fer-nickel comprenant au moins 34,0 % de nickel, de préférence au moins 35,0 % de nickel et de manière encore plus préférée au moins 36,0 % de nickel. Dans un mode de réalisation encore préféré, ce peut être un alliage de fer-nickel comprenant de 34,0 % à 38,0 % de nickel, de préférence de 35,0 % à 37,0 % de nickel, voire de 35,5 % à 36.5 % de nickel. Dans un mode de réalisation particulièrement préféré, ledit alliage fer-nickel est un Invar ®. Au sein d'un même raccord 20, les pièces de liaison 9 peuvent être constituées

d'un matériau aux propriétés de dilatation similaires (c'est-à-dire compatibles et considérées comme proches par la personne du métier) ou identiques, de préférence identiques. Dans un mode de réalisation préféré, au sein du même raccord 20, elles sont constituées d'un matériau de composition identique.

[0099] Comme mentionné cela est visible sur la [Fig.3], et mentionné dans la partie résumé de l'invention ci-dessus, une surcouche externe 10 d'isolant thermique 8 entourée d'un tube externe de liaison 11 est présente sur ce raccord 20. Le tube externe de liaison 11 peut être en acier au carbone, acier inoxydable, ou alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse. Dans un mode de réalisation préféré, le tube externe de liaison 11 est en acier au carbone. Ce raccord 20 présente l'avantage d'être d'un assemblage aisé et rapide en atelier.

[0100] Bien que ce raccord 20 soit tout à fait performant dans l'atténuation des contraintes physiques générées au niveau des coudes dans la conduite selon l'invention, il peut être avantageux dans certains modes de réalisation que la conduite ne présente pas de relief constitué par cette surcouche à sa surface. Cela est permis par la mise en œuvre d'un raccord 21 tel illustré à la [Fig.4] et décrit dans la partie résumé de l'invention ci-dessus.

[0101] Dans le raccord 21 pour la conduite selon l'invention la couche d'isolant thermique 8 placée au droit de la pièce de liaison 9 reliant le tube externe 4 et le tube intermédiaire 3, est disposée dans l'annulaire intérieur 6. Cette organisation permet la continuité de la surface externe de la conduite, c'est-à-dire sans protubérance ou bosse. Dans un mode de réalisation, tel que représenté à la [Fig.4], dans ce raccord 21, l'épaisseur de l'espace annulaire externe 7 est diminuée relativement à l'épaisseur de l'espace annulaire externe des tronçon 1 adjacents. Dans ce mode de réalisation, cette diminution permet une augmentation de l'espace annulaire interne 6 pour permettre l'introduction localisée de la couche d'isolant thermique 8 au droit de la pièce de liaison 9 reliant le tube externe 4 et le tube intermédiaire 3. Dans ce raccord 21, la présence très localisée d'isolant thermique 8 n'entraine pas une perte des performances globales de la conduite selon l'invention. En outre l'isolant dans l'annulaire interne de ce raccord 21 est placé de manière à ne pas entrainer de gêne particulière pour, par exemple, l'instauration du balayage de l'annulaire interne 6 de la conduite par un gaz vecteur tel que mentionné ci-dessus. Les caractéristiques de composition des différents éléments de ces raccords 21 sont identiques à celles des raccords 20. Notamment, au sein d'un même raccord 21, les pièces de liaison 9 peuvent être constituées d'un matériau aux propriétés de dilatation similaires (c'est-à-dire compatibles et considérées comme proches par la personne du métier) ou identiques, de préférence identiques. Dans un mode de réalisation préféré, au sein du même raccord 21, elles sont constituées d'un matériau de composition identique.

[0102] Dans un mode de réalisation préféré, l'isolant thermique 8 est au contact du tube intermédiaire et, le cas échéant, concernant les raccords 20 ou 21, du tube externe ou du tube interne respectivement.

[0103] Comme mentionné, l'agencement des éléments de la conduite et les différents éléments modulaires agissent en synergie et permettent d'obtenir une conduite particulièrement performante thermiquement, sûre et adaptée aux fluides cryogéniques et plus particulièrement aux fluides cryogéniques aux températures de liquéfaction telles que celles de l'hydrogène ou l'hélium.

[0104] Dans les modes de réalisation selon lesquels les pièces de liaison 9 et les tubes auxquels elles sont raccordées sont constitués de matériaux de coefficient thermique différents, il est avantageux d'intercaler entre les tubes et les pièces de liaison, des pièces de transition qui sont constituées d'un matériau sélectionné parmi un acier inoxydable, un Inconel® ou d'un alliage austénitique comprenant 22 à 27 % en poids de manganèse et qui s'insèrent en continuité de la pièce de liaison et du tube auquel cette dernière est raccordée. Un inconel® est connu pour être un superalliage très résistant aux conditions de températures extrêmes et à la corrosion (superalliage) qui contient principalement du nickel, mais aussi plusieurs autres métaux tels que le chrome, le magnésium, le fer ou le titane. Ainsi, il existe plusieurs alliages de type Inconel®. Notamment, un Inconel ® au sens de l'invention fait référence à un superalliage comprenant au moins 45% de nickel tel que, par exemple et de façon non limitative, le supra 50®, l'Inconel 600, l'Inconel 625, ou l'Inconel 718. Un Inconel® est un matériau particulièrement préféré pour les pièces de transition, par exemple quand une pièce de liaison 9 est en acier inoxydable et un des tubes auxquels elle est liée est en Invar®.

[0105] Selon un autre aspect l'invention porte également sur les procédés d'assemblages des éléments modulaires ci-dessus qui peuvent composer la conduite selon l'invention.

[0106] Procédés d'assemblage des différents éléments modulaires de la conduite.

[0107] Malgré une architecture triple enveloppe, les conduites 100 développées par les inventeurs sont d'un assemblage particulièrement aisé et rapide. Cette facilité et rapidité d'assemblage est due d'une part aux agencements décrits ci-dessus ainsi qu'au choix particulier des matériaux des différents composants, mais également d'autre part par la mise au point de pièces préassemblées en atelier, qui peuvent aisément transportées sur le lieu de construction de la conduite (en mer, en terre ou hors sol). Cette facilité de construction et la sécurité de ces conduites 100 peut permettre en outre d'envisager leur installation dans des environnements accidentés ou jusqu'alors jugés peu propices à cela. Ainsi, d'autres objets de la présente invention concernent des

procédés d'assemblage des différents éléments modulaires mentionnés ci-dessus, pour aboutir à la construction d'une conduite selon l'invention.

[0108] Un autre objet de l'invention concerne donc un procédé d'assemblage de l'extrémité d'un tronçon de conduite et d'un tronçon-embout 30 de conduite, qui permet d'obturer en sécurité les annulaires interne 6 et externe 7. Ce procédé peut comprendre les étapes suivantes :

- Fournir une extrémité de tronçon de conduite tel que décrit précédemment,
- Fournir un tronçon-embout 30 de conduite dont les tubes interne 2, intermédiaire 3 et externe 4 sont d'un diamètre adapté, respectivement, au prolongement des tubes interne 2, intermédiaire 3 et externe 4 de l'extrémité de tronçon de conduite,
- Souder l'extrémité du tube interne 2 de l'extrémité de tronçon de conduite 1 avec l'extrémité du tube interne 2 du tronçon-embout 30 adaptée à constituer un prolongement du tube interne 2 l'extrémité de tronçon de conduite 1,
- Dans un espace entre le tube intermédiaire 3 du tronçon-embout 30 et le tube intermédiaire 3 du tronçon de conduite 1, insérer deux demi-coquilles intermédiaires constituées d'un matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égal à 2.10-6 $m.m^{-1}.K^{-1}$ et les souder chacune d'une part à l'extrémité du tube intermédiaire 3 du tronçon-embout 30 adaptée à constituer un prolongement du tube intermédiaire 3 de l'extrémité de tronçon de conduite 1 et d'autre part au tube intermédiaire 3 du tronçon de conduite, puis souder les demi-coquilles entre elles,
- Dans l'espace annulaire externe 7, combler un espace entre la couche d'isolant thermique 8 de l'extrémité de tronçon de conduite 1 et la couche d'isolant thermique 8 du tronçon-embout 30, en rajoutant une couche d'isolant thermique 8 en continuité avec lesdites couche d'isolant thermique 8 de l'extrémité du tronçon de conduite 1 et couche d'isolant thermique 8 du tronçon-embout 30,
- Dans un espace entre le tube externe 4 du tronçon-embout 30 et le tube externe 4 extrémité de tronçon de conduite 1, insérer deux demi-coquilles externes constituées d'un acier au carbone, d'un acier inoxydable, ou d'un alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse et les souder chacune d'une part à l'extrémité du tube externe 4 du tronçon-embout 30 de conduite et d'autre part au tube externe 4 de la conduite 1, puis souder les demi-coquilles entre elles.

[0109] Dans un mode de réalisation particulier, du procédé d'assemblage de l'extrémité d'un tronçon de conduite et d'un tronçon-embout 30 de conduite, une couche d'isolant thermique 8 est présente dans l'espace annulaire interne 6 qui s'étend en partie sous

la couche d'isolant thermique 8 de l'espace annulaire externe 7, permettant ainsi une isolation optimale au niveau de l'extrémité de la conduite dont les espaces annulaires internes et externes sont fermés.

[0110] Un autre objet de l'invention concerne un procédé d'assemblage de deux extrémités de tronçons 1 d'une conduite, qui permet l'élongation de la conduite selon l'invention. Ce procédé d'assemblage de deux extrémités de tronçon 1 de conduite peut comprendre les étapes suivantes :

- Fournir deux extrémités de deux tronçons 1, dont les tubes interne 2, intermédiaire 3 et externe 4 sont d'un diamètre adapté pour permettre l'assemblage bout à bout de chacun des dits tubes interne 2, intermédiaire 3 et externe 4 des deux tronçons 1,
- Abouter les tubes internes 2 de chacune des extrémités des deux tronçon 1 de conduite, de manière à ce qu'ils soient jointifs par une de leurs extrémités,
- Souder les extrémités jointives des tubes internes 2 de chacun des tronçons,
- Abouter les tubes intermédiaires 3 de chacun des tronçons aux extrémités des tubes intermédiaires 3 de chacun des tronçons de manière à ce qu'ils soient jointifs et forment un seul tube entourant le tube interne 2,
- Souder les extrémités jointives des tubes intermédiaires 3 de chacun des tronçons,
- Assurer la continuité de l'isolation thermique dans l'espace annulaire externe 7, par exemple, en rajoutant de l'isolant thermique 8 dans l'espace annulaire externe 7 à la jonction des deux tronçons,
- Abouter les tubes externes 4 de chacun des tronçons aux extrémités des tubes externes 4 des tronçons, de manière à ce qu'ils soient jointifs et forment un seul tube entourant le tube interne 2,
- Souder les extrémités jointives des tubes externes 4 de chacun des tronçons.

[0111] Avantageusement, la couche isolant thermique 8 de l'espace annulaire externe 7, de par sa résistance, permet de maintenir l'espace nécessaire entre des tubes intermédiaire 3 et externe 4 de chacun des tronçons lors de l'étape de soudure des tubes intermédiaire 3 entre eux et des tubes 4 entre eux.

[0112] Un autre objet de l'invention concerne un procédé d'assemblage de l'extrémité d'un tronçon de conduite 1 et d'un raccord 20,21 d'une conduite 1, ledit raccord comprenant :

- trois tubes agencés l'un dans l'autre 2, 3, 4 :
  - un tube interne 2 constitué d'un matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égale à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$

- un tube intermédiaire 3 constitué d'un matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égale à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$
- un tube externe 4 constitué d'un acier au carbone, d'un acier inoxydable, ou d'un alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse

lesdits trois tubes agencés l'un dans l'autre 2, 3, 4 définissant un espace annulaire interne (6) compris entre ledit tube interne 2 et ledit tube intermédiaire 3 et un espace annulaire externe 7 compris entre ledit tube intermédiaire 3 et ledit tube externe 4,

[0113] l'espace annulaire externe 7 comprenant un isolant thermique 8 microporeux à base de silice,

- des pièces de liaison 9 reliant lesdits trois tubes agencés l'un dans l'autre (2, 3, 4) deux à deux, localisées dans les espaces annulaires externe 7 et interne 6, munies d'au moins un orifice de manière à permettre la circulation de gaz dans les espaces annulaires 6, 7, les dites pièces étant constituées d'un alliage à coefficient de dilatation inférieur ou égale à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$, d'un acier inoxydable, d'un Inconel®, ou d'un alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse,

dans le cas de pièces de liaison 9 reliant des tubes constitués de matériaux aux coefficients thermiques différents, des pièces de transition tubulaires sont positionnées entre les pièces de liaison 9 et au moins un des deux tubes, lesdites pièces de transition étant constituées d'un matériau de coefficient thermique intermédiaire à celui de la pièce de liaison (9) et le tube sur lequel elle est positionnée,

- au niveau de la pièce de liaison 9 reliant ledit tube externe 4 et ledit tube intermédiaire 3 :
- une surcouche externe 10 d'isolant thermique 8 microporeux à base de silice, entourée d'un tube externe de liaison 11 en acier au carbone, acier inoxydable, ou alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse, ledit tube externe de liaison 11 en étant soudé à ses extrémités au tube externe 4 du raccord, ou
- une couche d'isolant thermique 8 au droit de ladite pièce de liaison 9 est située dans l'annulaire intérieur 6,

le procédé comprenant les étapes suivantes :

- Fournir une extrémité de tronçon de conduite 1 comprenant trois tubes agencés l'un dans l'autre 2, 3, 4 :
- un tube interne 2 constitué d'un matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égale à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$,
- un tube intermédiaire 3 constitué d'un matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égale à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$,

- un tube externe 4 constitué d'un acier au carbone, d'un acier inoxydable, ou d'un alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse,

lesdits trois tubes agencés l'un dans l'autre 2, 3, 4 définissant un espace annulaire interne (6) compris entre ledit tube interne 2 et ledit tube intermédiaire 3 et un espace annulaire externe 7 compris entre ledit tube intermédiaire 3 et ledit tube externe 4,

[0114] l'espace annulaire externe 7 comprenant un isolant thermique 8 microporeux à base de silice, l'espace annulaire interne 6 ne comprenant pas de matériau isolant,

- Fournir le raccord 20,21 de conduite 1, dont les tubes interne 2, intermédiaire 3 et externe 4 sont d'un diamètre adapté, respectivement, au prolongement des tubes interne 2, intermédiaire 3 et externe 4 de l'extrémité de tronçon de conduite 1,
- Souder l'extrémité du tube interne 2 de l'extrémité du tronçon de conduite 1 avec l'extrémité du tube interne 2 du raccord 20,21 de conduite 1,
- Dans un espace entre le tube intermédiaire 3 du raccord 20,21 de conduite 1 et le tube intermédiaire 3 de l'extrémité d'un tronçon de conduite 1, insérer deux demi-coquilles intermédiaires constituées d'un matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égale à 2.10-6 $m.m^{-1}.K^{-1}$ et les souder chacune d'une part à l'extrémité du tube intermédiaire 3 du raccord 20,21 de conduite 1 et d'autre part au tube intermédiaire 3 de l'extrémité du tronçon de conduite 1, puis souder les demi-coquilles entre elles,
- Dans l'espace annulaire externe 7, combler un espace entre la couche d'isolant thermique 8 de l'extrémité du tronçon de conduite 1 et la couche d'isolant thermique 8 du raccord 20,21 de conduite 1, en rajoutant une couche d'isolant 8 en continuité avec lesdites couche d'isolant thermique 8 de l'extrémité du tronçon de conduite 1 et couche d'isolant thermique 8 du raccord 20,21 de conduite 1,
- Dans un espace entre le tube externe 4 du raccord 20,21 et le tube externe 4 du tronçon de conduite 1, insérer deux demi-coquilles externes constituées d'un acier au carbone, d'un acier inoxydable, ou d'un alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse et les souder chacune d'une part à l'extrémité du tube externe 4 du raccord 20,21 pour conduite 1 et d'autre part au tube externe 4 de l'extrémité du tronçon de conduite 1, puis souder les demi-coquilles entre elles.

[0115] Les demi-coquilles sont dimensionnées pour permettre de rabouter des tubes qu'elles sont destinées à raccorder ; elles sont de forme correspondant à des demi-cylindres (ou demi-tubes). Elles permettent la fermeture de la conduite selon l'invention. Dans un mode de réalisation particulier les demi-coquilles sont constituées du même matériau que les tubes auxquels elles sont raccordées.

[0116] Dans un mode de réalisation particulier, chacun indépendamment des procédés détaillés ci-dessus peut comprendre le contrôle non destructif d'au moins une soudure qui y est effectuée.

Revendications

[Revendication 1] Conduite adaptée au transport d'un liquide cryogénique, isolée thermiquement, **caractérisée en ce qu'**elle comprend

– trois tubes agencés l'un dans l'autre (2, 3, 4) :

- un tube interne (2) constitué d'un matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égal à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$,
- un tube intermédiaire (3) constitué d'un matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égal à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$,
- un tube externe (4) constitué d'un acier au carbone, d'un acier inoxydable, ou d'un alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse,

lesdits trois tubes agencés l'un dans l'autre (2, 3, 4) définissant un espace annulaire interne (6) compris entre ledit tube interne (2) et ledit tube intermédiaire (3) et un espace annulaire externe (7) compris entre ledit tube intermédiaire (3) et ledit tube externe (4), l'espace annulaire externe (7) comprenant un isolant thermique (8) microporeux à base de silice, l'espace annulaire interne (6) ne comprenant pas de matériau isolant thermique,

– des pièces de liaison (9) reliant lesdits trois tubes agencés l'un dans l'autre (2, 3, 4) deux à deux, localisées dans les espaces annulaires externe (7) et interne (6), et munies d'au moins un orifice de manière à permettre la circulation de gaz dans les espaces annulaires interne (6) et externe (7), les dites pièces étant constituées d'un matériau à coefficient de dilatation thermique inférieur ou égale à 2.10-6 m.m-1.K^{-1}, d' un acier inoxydable, d'un Inconel® ou d'un alliage austénitique comprenant 22 à 27 % en poids de manganèse,

dans le cas de pièces de liaison (9) reliant des tubes constitués de matériaux aux coefficients thermiques différents, des pièces de transition tubulaires positionnées entre les pièces de liaison (9) et au moins un des deux tubes, lesdites pièces de transition étant constituées d'un matériau de coefficient thermique intermédiaire à celui de la pièce de liaison et le tube sur lequel elle est positionnée.

[Revendication 2] Un tronçon (1) de conduite adaptée au transport d'un liquide cryogénique **caractérisé en ce qu**'il comprend :

– trois tubes agencés l'un dans l'autre (2, 3, 4) :

• un tube interne (2) constitué d'un matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égale à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$,

• un tube intermédiaire (3) constitué d'un matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égale à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$,

• un tube externe (4) constitué d'un acier au carbone, d'un acier inoxydable, ou d'un alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse,

– lesdits trois tubes agencés l'un dans l'autre (2, 3, 4) définissant un espace annulaire interne (6) compris entre ledit tube interne (2) et ledit tube intermédiaire (3) et un espace annulaire externe (7) compris entre ledit tube intermédiaire (3) et ledit tube externe (4),

– l'espace annulaire externe (7) comprenant un isolant thermique (8) microporeux à base de silice, l'espace annulaire interne (6) ne comprenant pas de matériau isolant thermique,

– des pièces de liaison (9) reliant lesdits trois tubes agencés l'un dans l'autre (2, 3, 4) deux à deux, localisées dans les espaces annulaires externe (7) et interne (6), et munies d'au moins un orifice de manière à permettre la circulation de gaz dans les espaces annulaires interne (6) et externe (7), les dites pièces étant constituées d'un matériau à coefficient de dilatation thermique inférieur ou égale à 2.10-6 m.m-1.K 1, d' un acier inoxydable, d'un Inconel® ou d'un alliage austénitique comprenant 22 à 27 % en poids de manganèse,

dans le cas de pièces de liaison (9) reliant des tubes constitués de matériaux aux coefficients thermiques différents, des pièces de transition tubulaires positionnées entre les pièces de liaison (9) et au moins un des deux tubes, lesdites pièces de transition étant

constituées d'un matériau de coefficient thermique intermédiaire à celui de la pièce de liaison et le tube sur lequel elle est positionnée.

[Revendication 3] Un raccord (20) pour conduite selon la revendication 1 **caractérisé en ce qu'il comprend** :

– trois tubes agencés l'un dans l'autre (2, 3, 4) :

- un tube interne (2) constitué d'un matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égale à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$
- un tube intermédiaire (3) constitué d'un matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égale à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$
- un tube externe (4) constitué d'un acier au carbone, d'un acier inoxydable, ou d'un alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse

lesdits trois tubes agencés l'un dans l'autre (2, 3, 4) définissant un espace annulaire interne (6) compris entre ledit tube interne (2) et ledit tube intermédiaire (3) et un espace annulaire externe (7) compris entre ledit tube intermédiaire (3) et ledit tube externe (4), l'espace annulaire externe (7) comprenant un isolant thermique (8) microporeux à base de silice,

– des pièces de liaison (9) reliant lesdits trois tubes agencés l'un dans l'autre (2, 3, 4) deux à deux, localisées dans les espaces annulaires externe (7) et interne (6), munies d'au moins un orifice de manière à permettre la circulation de gaz dans les espaces annulaires (6, 7), les dites pièces étant constituées d'un alliage à coefficient de dilatation inférieur ou égale à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$, d'un acier inoxydable, d'un Inconel®, ou d'un alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse),

dans le cas de pièces de liaison (9) reliant des tubes constitués de matériaux aux coefficients thermiques différents, des pièces de transition tubulaires sont positionnées entre les pièces de liaison (9) et au moins un des deux tubes, lesdites pièces de transition étant constituées d'un matériau de coefficient thermique intermédiaire à celui de la pièce de liaison (9) et le tube sur lequel elle est positionnée,

– au niveau de la pièce de liaison (9) reliant ledit tube externe (4) et ledit tube intermédiaire (3), une surcouche externe (10) d'isolant thermique (8) microporeux à base de silice, entourée d'un tube externe de liaison (11) en acier au carbone, acier inoxydable, ou alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse, ledit tube externe de liaison (11) en étant soudé à ses extrémités au tube externe (4) du raccord.

[Revendication 4] Un raccord (21) pour une conduite selon la revendication 1 **caractérisé en ce qu'il comprend** :

– trois tubes agencés l'un dans l'autre (2, 3, 4) :

- un tube interne (2) constitué d'un matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égal à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$
- un tube intermédiaire (3) constitué d'un matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égal à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$
- un tube externe (4) constitué d'un acier au carbone, d'un acier inoxydable, ou d'un alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse

lesdits trois tubes agencés l'un dans l'autre (2, 3, 4) définissant un espace annulaire interne (6) compris entre ledit tube interne (2) et ledit tube intermédiaire (3) et un espace annulaire externe (7) compris entre ledit tube intermédiaire (3) et ledit tube externe (4), l'espace annulaire externe (7) comprenant un isolant thermique (8) microporeux à base de silice,

– des pièces de liaison (9) reliant lesdits trois tubes agencés l'un dans l'autre (2, 3, 4) deux à deux, localisées dans les espaces annulaires externe (7) et interne (6), munies d'au moins un orifice de manière à permettre la circulation de gaz dans les espaces annulaires (6, 7), les dites pièces étant constituées d'un alliage à coefficient de dilatation inférieur ou égale à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$, d'un acier inoxydable, d'un Inconel®, ou d'un alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse,

dans le cas de pièces de liaison (9) reliant des tubes constitués de matériaux aux coefficients thermiques différents, des pièces de transition tubulaires sont positionnées entre les pièces de liaison (9) et au moins un des deux tubes, lesdites pièces de transition étant constituées d'un matériau de coefficient thermique intermédiaire à celui de la pièce de liaison (9) et le tube sur lequel elle est positionnée,

- au niveau de la pièce de liaison (9) reliant ledit tube externe (4) et ledit tube intermédiaire (3), une couche d'isolant thermique (8) au droit de ladite pièce de liaison (9) est située dans l'annulaire intérieur (6).

[Revendication 5] Un tronçon-embout (30) pour une conduite selon la revendication 1, le tronçon-embout (30) caractérisé en ce qu'il comprend :

- une première pièce de fermeture (12) de l'espace annulaire externe (7) soudée d'une part à un tube externe (4) et d'autre part à un tube intermédiaire (3), ladite pièce comprenant une extrémité du tube intermédiaire adaptée à constituer un prolongement au tube intermédiaire (3) de la conduite, et une extrémité du tube externe adaptée à constituer un prolongement au tube externe (4) de la conduite, ladite pièce étant constituée d'un alliage à coefficient de dilatation inférieur ou égale à 2.10^{-6} m.m-1.K^{-1}, d'un acier inoxydable, d'un Inconel®, ou d'un alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse,
- une deuxième pièce de fermeture (12) de l'espace annulaire interne (6) soudée d'une part à une extrémité du prolongement du tube intermédiaire (3) de la pièce de fermeture de l'espace annulaire externe (7) et d'autre part au tube interne (2), ledit tube interne (2) comprenant une extrémité adaptée à constituer un prolongement au tube interne (2) de la conduite, ladite pièce étant constituée d'un alliage à coefficient de dilatation inférieur ou égale à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$, d'un acier inoxydable, d'un Inconel®, ou d'un alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse,

- dans l'espace annulaire externe (7), une couche d'isolant thermique (8) microporeux à base de silice,
- des pièces de liaison (9) reliant lesdits trois tubes agencés l'un dans l'autre (2, 3, 4) deux à deux, localisées dans les espaces annulaires externe (7) et interne (6), et munies d'au moins un orifice de manière à permettre la circulation de gaz dans les espaces annulaires interne (6) et externe (7), les dites pièces étant constituées d'un matériau à coefficient de dilatation thermique inférieur ou égale à 2.10-6 m.m-1.K-1, d' un acier inoxydable, d'un Inconel® ou d'un alliage austénitique comprenant 22 à 27 % en poids de manganèse,

dans le cas de pièces de liaison (9) reliant des tubes constitués de matériaux aux coefficients thermiques différents, des pièces de transition tubulaires positionnées entre les pièces de liaison (9) et au moins un des deux tubes, lesdites pièces de transition étant constituées d'un matériau de coefficient thermique intermédiaire à celui de la pièce de liaison et le tube sur lequel elle est positionnée.

[Revendication 6] Un tronçon coudé pour une conduite selon la revendication 1, le tronçon coudé comprenant :

- trois tubes agencés l'un dans l'autre (2, 3, 4) :
  - un tube interne (2) constitué d'un matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égal à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$,
  - un tube intermédiaire (3) constitué d'un matériau à coefficient de dilatation thermique d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égal à $2.10^{-6}m.m^{-1}.K^{-1}$,
  - un tube externe (4) constitué d'un acier au carbone, d'un acier inoxydable, ou d'un alliage austénitique comprenant de 22 à 27 % en poids de manganèse,
- lesdits trois tubes agencés l'un dans l'autre (2, 3, 4) définissant un espace annulaire interne (6) compris entre ledit tube interne (2) et ledit tube intermédiaire (3) et un espace annulaire externe (7) compris entre ledit tube intermédiaire (3) et ledit tube externe (4),
- l'espace annulaire externe (7) comprenant un isolant thermique (8) microporeux à base de silice,

- lesdits tubes agencés l'un dans l'autre (2, 3, 4) présentant une courbure selon un angle compris entre 30° et 90°
- des pièces de liaison (9) reliant lesdits trois tubes agencés l'un dans l'autre (2, 3, 4) deux à deux, localisées dans les espaces annulaires externe (7) et interne (6), et munies d'au moins un orifice de manière à permettre la circulation de gaz dans les espaces annulaires interne (6) et externe (7), les dites pièces étant constituées d'un matériau à coefficient de dilatation thermique inférieur ou égale à 2.10-6 m.m-1.K-1, d' un acier inoxydable, d'un Inconel® ou d'un alliage austénitique comprenant 22 à 27 % en poids de manganèse,

dans le cas de pièces de liaison (9) reliant des tubes constitués de matériaux aux coefficients thermiques différents, des pièces de transition tubulaires positionnées entre les pièces de liaison (9) et au moins un des deux tubes, lesdites pièces de transition étant constituées d'un matériau de coefficient thermique intermédiaire à celui de la pièce de liaison et le tube sur lequel elle est positionnée.

[Revendication 7] La conduite selon la revendication 1, le tronçon de conduite (1) selon la revendication 2, le raccord (20,21) selon la revendication 3 ou 4, ou le tronçon-embout (30) selon la revendication 5 dans lesquels, le matériau d'un coefficient de dilatation thermique inférieur ou égal à 2.10^{-6} $m.m^{-1}.K^{-1}$ constituant le tube interne et/ou le tube intermédiaire est alliage fer-nickel comprenant de 34,0 % à 38,0 % de nickel, de préférence de 35,0 % à 37,0 % de nickel, voire de 35,5 % à 36.5 % de nickel.

[Revendication 8] La conduite selon l'une des revendications 1 ou 7, ou le raccord (20,21) selon l'une des revendications 3 ou 4, ou le tronçon-embout (30) selon la revendication 5 dans lesquels, respectivement, les pièces de liaison (9) ou les pièces de fermeture (12) sont constituées d'un alliage fer-nickel comprenant de 34,0 % à 38,0 % de nickel, de préférence de 35,0 % à 37,0 % de nickel, voire de 35,5 % à 36.5 % de nickel.

[Revendication 9] La conduite selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle comprend un segment d'au moins 10 m, de préférence d'au moins 50 m, de préférence d'au moins 100 m, de préférence d'au moins 1 km, de préférence d'au moins 5 km, de préférence d'au moins 10

km, voire de préférence d'au moins d'au moins 15 km dans lequel les espaces annulaires externe 7 et interne 6 ne contiennent de raccord (20,21) selon la revendication 3 ou 4.

[Revendication 10] La conduite selon la revendication 1, caractérisée en ce que lorsqu'elle comprend un tronçon coudé selon la revendication 6, un raccord (20,21) d'une conduite (1) selon la revendication 3 ou 4 est placé en amont et/ou en aval du dit tronçon coudé.

[Revendication 11] La conduite selon la revendication 1 caractérisée en ce que l'isolant thermique (8) microporeux a une densité comprise entre 40 $kg.m^{-3}$ et 250 $kg.m^{-3}$, entre 70 $kg.m^{-3}$et 190 $kg.m^{-3}$, de préférence entre 100 $kg.m^{-3}$ et 160 $kg.m^{-3}$.

[Revendication 12] La conduite selon la revendication 1 dans laquelle un gaz est mis en circulation dans l'espace annulaire interne (6), ledit gaz ayant, à la pression de circulation dans l'espace annulaire interne, une température de liquéfaction inférieure au liquide cryogénique transporté dans la conduite (1).

[Revendication 13] La conduite selon la revendication 12, à une extrémité de laquelle est couplé au moins un moyen d'analyse du gaz en circulation dans l'espace annulaire interne (6).

[Revendication 14] La conduite selon l'une quelconque des revendications précédentes dans laquelle la pression dans l'annuaire externe (7), à température ambiante, avant mise en froid de la conduite, est inférieure ou égale à 10 mbar.