

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①1 N° de publication : **3 149 067**

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **23 05088**

⑤1 Int Cl⁸ : **F 17 C 13/02** (2023.01), G 01 L 9/08, F 17 C 3/04,
B 63 B 25/08

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 Panneau isolant convenant pour la fabrication d'une paroi de cuve et muni d'un instrument de mesure d'efforts.

②2 Date de dépôt : 23.05.23.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public
de la demande : 29.11.24 Bulletin 24/48.

④5 Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 18.04.25 Bulletin 25/16.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *GAZTRANSPORT ET TECHNIGAZ
Société Anonyme à conseil d'administration — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : *BROSSET Laurent, BRISWALTER
Xavier et MUREAU Benoit.*

⑦3 Titulaire(s) : *GAZTRANSPORT ET TECHNIGAZ
Société Anonyme à conseil d'administration.*

⑦4 Mandataire(s) : *Cabinet LOYER & ABELLO.*

FR 3 149 067 - B1



Description

Titre de l'invention : Panneau isolant convenant pour la fabrication d'une paroi de cuve et muni d'un instrument de mesure d'efforts

Domaine technique

[0001] L'invention se rapporte au domaine des cuves étanches et thermiquement isolantes, à membranes. En particulier, l'invention se rapporte au domaine des cuves étanches et thermiquement isolantes pour le stockage et/ou le transport de gaz liquéfié, tel que du Gaz Naturel Liquéfié, du Gaz de Pétrole Liquéfié, de l'ammoniac, de l'hydrogène ou de l'éthane par exemple. Ces cuves peuvent être installées à terre ou sur un ouvrage flottant. Dans le cas d'un ouvrage flottant, la cuve peut être destinée au transport de gaz liquéfié ou à recevoir du gaz liquéfié servant de carburant pour la propulsion de l'ouvrage flottant.

Arrière-plan technologique

[0002] Lorsqu'il est en mer, l'ouvrage flottant est sujet à des mouvements variés liés aux conditions climatiques. Ces mouvements se répercutent sur le gaz liquéfié contenu dans la cuve qui, en conséquence, est sujet à du ballottage dans la cuve pouvant produire des impacts sur les parois de cuve. Lorsque les chargements induits par le ballottage dépassent la capacité mécanique des parois de cuve à absorber ou disperser le ballottage, les impacts sur les parois de cuve peuvent provoquer des endommagements de ces parois. Or il est nécessaire de conserver l'intégrité des parois de cuves pour conserver l'étanchéité et les caractéristiques d'isolation thermique des cuves.

[0003] Il est donc important d'estimer une probabilité d'endommagement dû au ballottage au moment de la conception des parois de cuve, afin de vérifier qu'elles sont suffisamment robustes. Ces probabilités sont aujourd'hui estimées à l'aide d'essais sur des modèles réduits de cuves. Il est donc utile de disposer un ou plusieurs capteurs dans les parois de cuve, pour obtenir un retour d'expérience et valider ces estimations.

[0004] À titre d'exemple, le document WO 2006/004419 A1 décrit une cuve dans laquelle au moins un capteur à interférométrie optique est disposé sous une membrane d'étanchéité de la cuve, au contact de la membrane, afin de mesurer des efforts appliqués à la membrane.

Résumé

[0005] Une idée à la base de l'invention est de proposer un panneau isolant convenant pour la fabrication d'une paroi de cuve étanche et thermiquement isolante dans lequel il est aisé d'installer un instrument de mesure d'efforts, sans nécessiter de modifications particulières à la membrane d'étanchéité.

- [0006] Selon un mode de réalisation, l'invention fournit un panneau isolant convenant pour la fabrication d'une paroi de cuve étanche et thermiquement isolante, le panneau isolant comprenant :
- un élément d'isolation thermique secondaire, de forme parallélépipédique, et comportant une plaque de fond et un bloc thermiquement isolant secondaire disposé sur la plaque de fond ;
 - un élément de membrane d'étanchéité secondaire disposé sur l'élément d'isolation thermique secondaire ;
 - un élément d'isolation thermique primaire, présentant une forme parallélépipédique, et comportant un bloc thermiquement isolant primaire et une plaque de couvercle primaire disposée sur le bloc thermiquement isolant primaire, ledit élément d'isolation thermique primaire présentant au moins un évidement parallélépipédique traversant l'élément d'isolation thermique primaire dans une direction d'épaisseur, et un élément planaire de support disposé au fond dudit évidement sur l'élément de membrane d'étanchéité secondaire, de façon à former au moins un volume de réception pour un instrument de mesure d'efforts entre l'élément planaire de support et une surface supérieure de l'élément d'isolation thermique primaire, le volume de réception débouchant sur la surface supérieure de l'élément d'isolation thermique primaire.
- [0007] Un tel panneau isolant peut comprendre plusieurs évidements permettant chacun de recevoir un instrument de mesure d'efforts.
- [0008] Un tel panneau isolant peut aisément être muni d'un instrument de mesure d'efforts, simplement en installant l'instrument de mesure d'efforts dans l'évidement prévu à cet effet.
- [0009] Selon des modes de réalisation, un tel panneau isolant peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes.
- [0010] Selon un mode de réalisation, le panneau isolant comprend en outre un instrument de mesure d'efforts reçu dans le volume de réception et reposant sur l'élément planaire de support, et dans lequel l'instrument de mesure d'efforts comprend une plaque d'impact de force présentant une surface d'impact de force en saillie de la plaque de couvercle primaire en condition opérationnelle. Par « en condition opérationnelle », on entend désigner une condition dans laquelle la paroi de cuve, et donc le panneau isolant, est à l'équilibre thermique avec le gaz liquéfié dont la cuve est remplie.
- [0011] Selon un mode de réalisation, la surface d'impact de force est en saillie de moins de 2 mm de la plaque de couvercle primaire en condition opérationnelle.
- [0012] Grâce à ce positionnement légèrement en saillie de la surface d'impact de force, on peut assurer que la surface d'impact de force soit bien au contact de la membrane d'étanchéité primaire, au moins lorsqu'un impact de gaz liquéfié se produit sur la membrane d'étanchéité primaire, tout en évitant que ce contact ne déforme trop lo-

calement la membrane d'étanchéité primaire, ce qui pourrait être préjudiciable à l'intégrité mécanique de cette dernière.

- [0013] Selon un mode de réalisation, l'instrument de mesure d'efforts comprend en outre :
- une contre-plaque assemblée à la plaque d'impact de force ;
 - un premier cadre de maintien présentant une surface supérieure dans le prolongement de la plaque de couvercle primaire, une surface inférieure du côté opposé à la surface supérieure, et un espace central creux recevant la plaque d'impact de force et la contre-plaque; et
 - un deuxième cadre de maintien,
- le premier cadre de maintien présentant un renforcement tourné vers l'élément planaire de support,
- la contre-plaque étant fixée au deuxième cadre de maintien, et le deuxième cadre de maintien étant reçu dans le renforcement du premier cadre de maintien.
- [0014] Selon un mode de réalisation, le premier cadre de maintien est réalisé en bois contreplaqué.
- [0015] Selon un mode de réalisation, le deuxième cadre de maintien est réalisé en titane.
- [0016] Selon un mode de réalisation, l'instrument de mesure d'efforts comprend en outre une plaque d'appui disposée entre le premier cadre de maintien et l'élément planaire de support.
- [0017] Selon un mode de réalisation, la plaque d'appui est réalisée en bois contreplaqué.
- [0018] Selon un mode de réalisation, le premier cadre de maintien et/ou le deuxième cadre de maintien est collé à la plaque d'appui.
- [0019] Selon un mode de réalisation, la contre-plaque est collée à la plaque d'appui.
- [0020] Selon un mode de réalisation, l'instrument de mesure d'efforts présente, entre la plaque d'impact de force et le premier cadre de maintien, un jeu compris entre 1 mm et 3 mm.
- [0021] Selon un mode de réalisation, l'élément planaire de support comprend une plaque de fixation, le premier cadre de maintien étant fixé à la plaque de fixation au moyen d'une pluralité d'éléments de fixation externes traversant le premier cadre de maintien et reçus dans des trous borgnes de fixation externe correspondants que présente la plaque de fixation. Ainsi, selon un mode de réalisation, l'élément planaire de support consiste une plaque de fixation.
- [0022] Selon un mode de réalisation, la plaque d'appui est collée à l'élément planaire de support. De préférence, la plaque d'appui est collée à la plaque de fixation.
- [0023] Selon un mode de réalisation, l'élément d'isolation thermique secondaire comporte en outre une plaque de couvercle secondaire, le bloc thermiquement isolant secondaire étant disposé entre la plaque de fond et la plaque de couvercle secondaire, et l'élément de membrane d'étanchéité secondaire étant disposé sur la plaque de couvercle se-

conculaire. L'épaisseur de la plaque de couvercle secondaire est alors réduite par rapport à celle du bloc thermiquement isolant secondaire. De plus, la hauteur du bloc thermiquement isolant secondaire est adaptée suite à la présence de la plaque de couvercle secondaire de manière à ce que l'élément d'isolation thermique secondaire garde son épaisseur définie.

- [0024] Selon un mode de réalisation, l'élément de membrane d'étanchéité secondaire recouvre toute la plaque de couvercle secondaire.
- [0025] Selon un mode de réalisation, l'élément planaire de support comprend ou consiste en un bloc de mousse.
- [0026] Selon un mode de réalisation, la contre-plaque est fixée de façon amovible au deuxième cadre de maintien. En particulier, selon un mode de réalisation, la contre-plaque est fixée au deuxième cadre de maintien au moyen d'une pluralité d'éléments de fixation internes traversant le deuxième cadre de maintien et reçus dans des trous borgnes de fixation interne correspondants que présente la contre-plaque.
- [0027] Selon un mode de réalisation, l'instrument de mesure d'efforts comprend au moins un capteur piézoélectrique, le capteur piézoélectrique incluant une cellule piézoélectrique disposée dans un espace interne ménagé entre la plaque d'impact de force et la contre-plaque.
- [0028] Selon un mode de réalisation, l'instrument de mesure d'efforts présente un jeu supérieur à 0,1 mm entre la plaque d'impact de force et la contre-plaque. Notamment, ce jeu peut être compris entre 0,1 mm et 0,5 mm en condition opérationnelle.
- [0029] Selon un mode de réalisation, l'instrument de mesure d'efforts comprend en outre un câble de connexion configuré pour connecter ledit au moins un capteur piézoélectrique à un système d'acquisition de données.
- [0030] Selon un mode de réalisation, le renforcement du premier cadre de maintien comporte, tout autour de l'espace central creux, une rainure, un joint est reçu dans la rainure, et le joint est interrompu pour permettre le passage du câble de connexion.
- [0031] Selon un mode de réalisation, le câble de connexion traverse le premier cadre de maintien et débouche sur la surface supérieure du premier cadre de maintien.
- [0032] Selon un mode de réalisation, l'invention fournit aussi une cuve étanche et thermiquement isolante destinée au stockage ou au transport d'un gaz liquéfié, ladite cuve comportant une paroi de cuve fixée à une paroi porteuse, la paroi de cuve comportant :
 - une barrière d'isolation thermique secondaire disposée sur la paroi porteuse ;
 - une membrane d'étanchéité secondaire disposée sur la barrière d'isolation thermique secondaire ;
 - une barrière d'isolation thermique primaire présentant une surface de support ; et
 - une membrane d'étanchéité primaire destinée à être en contact avec le gaz liquéfié contenu dans la cuve, la membrane d'étanchéité primaire comportant une première

série d'ondulations parallèles et une deuxième série d'ondulations parallèles et des portions planes situées entre les ondulations, lesdites première et deuxième séries d'ondulations s'étendant selon des directions sécantes, lesdites portions planes reposant sur la surface de support de la barrière d'isolation thermique primaire, dans laquelle au moins une partie de la barrière d'isolation thermique secondaire, de la membrane d'étanchéité secondaire et de la barrière d'isolation thermique primaire sont réalisées en juxtaposant, sur la paroi porteuse, une pluralité d'éléments thermiquement isolants, dans laquelle au moins un élément thermiquement isolant est un panneau isolant selon l'un quelconque des modes de réalisation décrits ci-dessus.

- [0033] On comprend bien que dans une telle cuve, il est aisé d'installer des instruments de mesure d'efforts aux emplacements souhaités, simplement en disposant des panneaux isolants tels que définis ci-dessus à un emplacement correspondant dans la paroi de cuve. En outre, le positionnement de l'instrument de mesure d'efforts dans l'évidement peut permettre d'éviter que la présence de l'instrument de mesure d'efforts ne perturbe trop les propriétés d'isolation thermique de la barrière d'isolation thermique primaire.
- [0034] Selon des modes de réalisation, une telle cuve peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes.
- [0035] Selon un mode de réalisation, des renforts d'onde sont agencés sous les ondulations de la première série d'ondulations, deux renforts d'onde successifs dans une ondulation comportant chacun une semelle incluant une paroi inférieure destinée à reposer sur la surface de support de la barrière d'isolation thermique primaire et une portion de renfort creuse disposée au-dessus de la semelle dans une direction d'épaisseur de la paroi de cuve, les deux renforts d'onde se développant longitudinalement dans l'ondulation de part et d'autre d'un nœud.
- [0036] Selon un mode de réalisation dans lequel le panneau isolant comprend le câble de connexion précité, le câble de connexion est connecté à un câble de transmission s'étendant à travers au moins une portion de renfort creuse.
- [0037] De cette manière, il est possible de faire cheminer un câble de transmission connecté au câble de connexion sous la membrane d'étanchéité primaire, ceci sans percer la membrane d'étanchéité primaire ou la membrane d'étanchéité secondaire, sauf éventuellement en une zone spéciale prévue à cet effet. Cette zone spéciale peut par exemple être au niveau du dôme combiné habituellement prévu dans la cuve.
- [0038] Selon un mode de réalisation, l'invention fournit aussi un procédé d'assemblage pour assembler une cuve étanche et thermiquement isolante selon l'un quelconque des modes de réalisation décrits ci-dessus, le procédé d'assemblage comprenant :
- fournir le panneau isolant décrit ci-dessus, un bloc inerte, par exemple en bois contreplaqué, étant reçu dans le volume de réception de telle sorte qu'une surface du

bloc inerte affleure avec la plaque de couvercle primaire dudit panneau isolant ;
 - juxtaposer, sur la paroi porteuse, une pluralité d'éléments thermiquement isolants, dans laquelle au moins l'un des éléments thermiquement isolants est ledit panneau isolant ; et
 - retirer le bloc inerte dudit panneau isolant, et disposer un instrument de mesure d'efforts dans le volume de réception.

- [0039] Dans un mode de réalisation, le gaz liquéfié est du GNL, à savoir un mélange à forte teneur en méthane stocké à une température d'environ -162°C à la pression atmosphérique. D'autres gaz liquéfiés peuvent aussi être envisagés, notamment l'hydrogène, le gaz de pétrole liquéfié, l'éthane, le propane, le butane ou l'éthylène. Des gaz liquéfiés peuvent aussi être stockés sous pression, par exemple à une pression relative comprise entre 2 et 20 bar, et en particulier à une pression relative voisine de 2 bar. La cuve peut être réalisée selon différentes techniques, notamment sous la forme d'une cuve intégrée à membrane ou d'une cuve autoporteuse.
- [0040] Une telle cuve peut faire partie d'une installation de stockage terrestre, par exemple pour stocker du GNL ou être installée dans une structure flottante, côtière ou en eau profonde, notamment un navire méthanier, une unité flottante de stockage et de regazéification (FSRU), une unité flottante de production et de stockage déporté (FPSO) et autres. Une telle cuve peut aussi servir de réservoir de carburant dans tout type de navire.
- [0041] Selon un mode de réalisation, un navire comporte une coque et une cuve précitée disposée dans la coque.
- [0042] Selon un mode de réalisation, le navire est un navire pour le transport d'un gaz liquéfié, la coque est une double coque, et la cuve précitée est disposée dans la double coque.
- [0043] Selon un mode de réalisation, le navire est un navire comportant un système de propulsion utilisant un gaz liquéfié comme carburant, et la cuve précitée est reliée au système de propulsion afin d'alimenter le système de propulsion en gaz liquéfié.
- [0044] Selon un mode de réalisation, l'invention fournit aussi un système de transfert pour un gaz liquéfié, le système comportant le navire précité, des canalisations isolées agencées de manière à relier la cuve installée dans la coque du navire à une installation de stockage flottante ou terrestre et une pompe pour entraîner un flux de fluide/gaz liquéfié à travers les canalisations isolées depuis ou vers l'installation de stockage flottante ou terrestre vers ou depuis la cuve du navire.
- [0045] Selon un mode de réalisation, l'invention fournit aussi un procédé de chargement ou déchargement d'un tel navire, dans lequel on achemine un gaz liquéfié à travers des canalisations isolées depuis ou vers une installation de stockage flottante ou terrestre vers ou depuis la cuve du navire.

Brève description des figures

- [0046] L'invention sera mieux comprise, et d'autres buts, détails, caractéristiques et avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement au cours de la description suivante de plusieurs modes de réalisation particuliers de l'invention, donnés uniquement à titre illustratif et non limitatif, en référence aux dessins annexés.
- [0047] [Fig.1] La [Fig.1] est une vue schématique d'une structure porteuse destinée à recevoir une cuve étanche et thermiquement isolante.
- [0048] [Fig.2A] La [Fig.2A] est une vue partielle en perspective de deux parois d'une cuve étanche et thermiquement isolante intégrée dans la structure porteuse de la [Fig.1].
- [0049] [Fig.2B] La [Fig.2B] est une vue en coupe des parois visibles sur la [Fig.2A].
- [0050] [Fig.3] La [Fig.3] est une vue schématique en perspective d'un panneau isolant muni d'un instrument de mesure d'efforts et pouvant être intégré dans l'une des parois de cuve représentées sur la [Fig.2A].
- [0051] [Fig.4] La [Fig.4] est une vue en section et en perspective d'une partie du panneau isolant de la [Fig.3].
- [0052] [Fig.5] La [Fig.5] est une vue éclatée et en perspective d'une partie de l'instrument de mesure d'efforts intégré dans le panneau isolant de la [Fig.3], vu d'un premier côté.
- [0053] [Fig.6A] La [Fig.6A] est une vue en perspective de l'instrument de mesure d'efforts intégré dans le panneau isolant de la [Fig.3], vu d'un deuxième côté opposé au premier côté.
- [0054] [Fig.6B] La [Fig.6B] est une vue de dessus de l'instrument de mesure d'efforts intégré dans le panneau isolant représenté sur la [Fig.3].
- [0055] [Fig.7] La [Fig.7] est une vue en coupe selon X-X sur la [Fig.6B].
- [0056] [Fig.8] La [Fig.8] est un agrandissement du détail H de la [Fig.7].
- [0057] [Fig.9] La [Fig.9] est une vue partielle dépliée de la structure porteuse de la [Fig.1], illustrant un positionnement possible de panneaux isolants conformes à la [Fig.3] près des arêtes de la structure porteuse.
- [0058] [Fig.10] La [Fig.10] est une vue en coupe selon X-X sur la [Fig.6B], illustrant un bloc inerte pouvant être installé à la place de l'instrument de mesure d'efforts dans le panneau isolant de la [Fig.3].
- [0059] [Fig.11] La [Fig.11] est une vue partielle en perspective du panneau isolant de la [Fig.3], en position montée dans une paroi de cuve représentée sur la [Fig.2A], ensemble avec des renforts d'onde pouvant être disposés sous une membrane d'étanchéité primaire de la paroi de cuve.
- [0060] [Fig.12] La [Fig.12] est une vue partielle en perspective de renforts d'onde semblables à ceux visibles sur la [Fig.11] ensemble avec un connecteur de câbles.
- [0061] [Fig.13] La [Fig.13] est une vue en section du connecteur de câbles visible sur la

[Fig.12].

[0062] [Fig.14] La [Fig.14] est une vue partielle en perspective montrant le passage d'un câble de transmission visible sur la [Fig.11] entre deux renforts d'onde.

[0063] [Fig.15] La [Fig.15] est une vue partielle en perspective montrant des éléments servant à guider des câbles de transmission en l'absence de renforts d'onde.

[0064] [Fig.16] La [Fig.16] est une représentation schématique d'un navire équipé d'une cuve étanche et isolante pour gaz naturel liquéfié et d'un équipement de production d'énergie alimenté au gaz naturel liquéfié pour la propulsion du navire ainsi qu'un terminal de chargement de cette cuve.

Description des modes de réalisation

[0065] En relation avec la [Fig.1], on observe une structure porteuse 1 destinée à recevoir les parois d'une cuve étanche et thermiquement isolante. La structure porteuse 1 est formée par la coque interne d'un navire. La structure porteuse 1 présente une forme générale polyédrique. La structure porteuse 1 présente des parois transversales 2, typiquement avant et arrière, ici de forme octogonale. Sur la [Fig.1], la paroi transversale 2 avant n'est représentée que partiellement afin de permettre la visualisation d'un espace interne 9 de la structure porteuse 1. Les parois transversales 2 sont des parois de cofferdam du navire et s'étendent transversalement à la direction longitudinale du navire. La structure porteuse 1 comporte également une paroi supérieure 3, une paroi inférieure 4 et des parois latérales 5. La paroi supérieure 3, la paroi inférieure 4 et les parois latérales 5 s'étendent selon la direction longitudinale du navire et relient les parois transversales 2 avant et arrière.

[0066] La paroi supérieure 3 comporte, à proximité de la paroi transversale 2 arrière, un espace, de forme parallélépipédique rectangle, en saillie vers le haut, appelé dôme combiné 6. Le dôme combiné 6 délimite une ouverture 7 de la paroi supérieure 3 permettant le passage de conduites de transfert de liquide et de conduites de transfert de gaz depuis ou vers la cuve lorsque celle-ci est montée dans la structure porteuse 1.

[0067] Les parois porteuses 2, 3, 4, 5 de la structure porteuse présentent une surface interne 10 délimitant l'espace interne 9 dans lequel est logée la cuve. La cuve comporte une pluralité de parois de cuve, chaque paroi de cuve étant ancrée sur une paroi porteuse 2, 3, 4, 5 respective de la structure porteuse 1.

[0068] Sur la [Fig.2A], on a représenté partiellement et en perspective une première paroi de cuve 20 ancrée sur l'une des parois transversales 2 et une deuxième paroi de cuve 140 ancrée sur la paroi inférieure 4. On a désigné par 99 l'arête de la structure porteuse 1 au niveau de laquelle la paroi transversale 2 et la paroi inférieure 4 se rejoignent. Du fait de la géométrie de la structure porteuse 1 représentée sur la [Fig.1], la paroi transversale 2 et la paroi inférieure 4 forment un angle de 90 degrés comme représenté

sur la [Fig.2A]. Toutefois, les principes d'assemblage qui vont être décrits dans la suite sont applicables à n'importe quelle paire de parois porteuses de la structure porteuse 1 représentée sur la [Fig.1], du moment que ces parois porteuses se rejoignent au niveau d'une arête. En outre, la géométrie de la structure porteuse 1 représentée sur la [Fig.1] n'est qu'un exemple. L'angle représenté sur la [Fig.2A] pourrait ainsi avoir une valeur différente, notamment une valeur voisine de 135 degrés.

[0069] Comme représenté sur la [Fig.2A] et la [Fig.2B], la paroi de cuve 20 comporte, dans une direction d'épaisseur de la paroi de cuve 20 depuis l'extérieur vers l'intérieur de la cuve, une barrière thermiquement isolante secondaire 30, une membrane d'étanchéité secondaire 50, une barrière thermiquement isolante primaire 60, et une membrane d'étanchéité primaire 80.

[0070] La barrière thermiquement isolante secondaire 30 comporte une rangée de panneaux isolants d'angle 31 disposée le long de l'arête 99, et plusieurs rangées parallèles de panneaux isolants plans 35, l'une de ces rangées étant disposée le long de la rangée de panneaux d'angle 31. Sur la [Fig.2A], afin de ne pas surcharger le dessin, on n'a représenté qu'un seul panneau d'angle 31 et que deux panneaux plans 35 des deux rangées les plus proches de ce panneau d'angle 31. Il est bien entendu que le nombre de rangées de panneaux plans 35 et que le nombre de panneaux 31 ou 35 par rangée est ajusté en fonction des dimensions de la paroi porteuse 2.

[0071] La [Fig.2B] est une vue en coupe de la [Fig.2A] orthogonalement à l'arête 99 et permet de mieux visualiser la structure du panneau d'angle 31 et du panneau plan 35 disposé le long du panneau d'angle 31. On précise que bien qu'un seul panneau plan 35 soit représenté partiellement sur la [Fig.2B], tous les panneaux plans peuvent présenter la même structure que celui-ci.

[0072] Le panneau d'angle 31 comporte deux plaques 32 et 33, par exemple en bois contreplaqué, qui sont parallèles et espacées. Les plaques 32 et 33 prennent en sandwich un bloc 34 de mousse thermiquement isolante, par exemple de la mousse de polyuréthane optionnellement renforcée de fibres de verre. Le bloc 34 peut être par exemple collé aux plaques 32 et 33. Le bloc 34 présente une face biseautée 34A permettant son raccordement avec une face biseautée analogue du panneau d'angle 131 de la barrière thermiquement isolante secondaire 130 de la paroi de cuve 140, ce panneau d'angle 131 étant analogue au panneau d'angle 31. Une ou plusieurs cales 95 sont disposées entre le panneau d'angle 31 et la paroi transversale 2. De façon connue en soi, les épaisseurs des cales 95 peuvent être choisies pour compenser les éventuels écarts dimensionnels entre la forme idéale de la paroi transversale 2 et sa forme réelle. Des cordons de mastic (non représentés) peuvent en outre être disposés entre le panneau d'angle 31 et la paroi transversale 2. De façon analogue, une ou plusieurs cales 195 analogues aux cales 95 peuvent être disposées entre le panneau d'angle 131

et la paroi inférieure 4 ; et des cordons de mastic (non représentés) peuvent en outre être disposés entre le panneau d'angle 131 et la paroi inférieure 4.

- [0073] Le panneau plan 35 comporte une plaque de fond 36, par exemple en bois contreplaqué, sur lequel est disposé un bloc 37 de mousse thermiquement isolante, par exemple de la mousse de polyuréthane optionnellement renforcée de fibres de verre. Le bloc 37 peut par exemple être collé à la plaque de fond 36. Une feuille composite étanche 51 (visible sur la [Fig.2A]) est collée sur la surface supérieure du bloc 37 pour former un élément de la membrane d'étanchéité secondaire 50. Une ou plusieurs cales 93 sont disposées entre le panneau plan 35 et la paroi transversale 2. De façon connue en soi, les épaisseurs des cales 93 peuvent être choisies pour compenser les éventuels écarts dimensionnels entre la forme idéale de la paroi transversale 2 et sa forme réelle. Des cordons de mastic (non représentés sur la [Fig.2B]) peuvent en outre être disposés entre le panneau plan 35 et la paroi transversale 2.
- [0074] La membrane d'étanchéité secondaire 50 peut être entièrement fabriquée en un composite tri-couche comportant une feuille d'aluminium et des fibres de verre liées à la feuille d'aluminium par une résine polyamide, qui est connu sous le nom de triplex.
- [0075] La barrière thermiquement isolante primaire 60 comporte, au-dessus du panneau d'angle 31, un bloc primaire d'angle 61 portant une face 971 d'une cornière métallique 979. Dans l'exemple représenté, le bloc primaire d'angle 61 se compose d'une plaque en bois 62 sur laquelle la face 971 est fixée, par exemple par vissage, et d'un élément thermiquement isolant 63, par exemple en mousse de polyuréthane ou en laine de verre.
- [0076] Au-dessus du panneau plan 35, la barrière thermiquement isolante primaire 60 comporte un bloc primaire plan 65. Le bloc primaire plan 65 comporte un bloc 66 de mousse thermiquement isolante, par exemple en mousse de polyuréthane optionnellement renforcée de fibres de verre, disposé sur une feuille composite étanche 51 constituant une partie de la membrane d'étanchéité secondaire 50, et une plaque de couvercle 67, par exemple en bois contreplaqué, disposée sur le bloc 66. Le bloc 66 peut par exemple être collé à la plaque de couvercle 67.
- [0077] Un élément de pontage 68 est disposé entre le bloc primaire d'angle 61 et le bloc primaire plan 65, à cheval sur le panneau d'angle 31 et le panneau plan 35. De même, un élément de pontage 68 est disposé entre deux panneaux plans 35 adjacents, à cheval sur ces deux panneaux plans 35 adjacents. L'élément de pontage 68 comporte un bloc 68A de mousse thermiquement isolante, par exemple en mousse de polyuréthane optionnellement renforcée de fibres de verre, et une plaque de couvercle 68B, par exemple en bois contreplaqué, disposée sur le bloc 68A. Il est à noter que l'élément de pontage 68 peut éventuellement être subdivisé en plusieurs sous-éléments 68D comme représenté sur la [Fig.2A].

- [0078] Entre deux panneaux plans 35, la membrane d'étanchéité secondaire 50 est complétée par des bandes de jonction 52, disposées sous les éléments de pontage 68 entre les blocs primaires plans 65, et qui sont par exemple collées aux feuilles composites étanches 51.
- [0079] Afin de simplifier l'assemblage des barrières thermiquement isolantes 30 et 60 et de la membrane étanche secondaire 50, chaque panneau plan 35 peut être fourni d'un seul tenant avec un bloc primaire plan 65 sous la forme d'un élément isolant préfabriqué en dehors de l'espace interne de la cuve et présentant des dimensions standardisées, selon les principes connus par exemple par le document FR 2 691 520 A1. Les feuilles composites étanches 51 peuvent être collées sur la surface supérieure du bloc 37 du panneau plan 35, notamment en dehors de l'espace interne de la cuve.
- [0080] En outre, afin de simplifier la réalisation du panneau d'angle 31, celui-ci peut être fourni d'un seul tenant avec le bloc primaire d'angle 61 sous la forme d'un élément isolant préfabriqué, de façon connue en soi.
- [0081] Les panneaux 31 et 35 sont fixés à la paroi porteuse 2 par des moyens d'ancrage qui sont bien connus en tant que tels et qui traversent les panneaux 31 et 35. On a désigné par la référence 98 des bouchons d'isolant thermique venant recouvrir ces moyens d'ancrage.
- [0082] La membrane d'étanchéité primaire 80 comporte des tôles métalliques ondulées 81, dont une seule est représentée sur la [Fig.2A] afin de ne pas surcharger le dessin. Les tôles métalliques ondulées 81 sont réalisées en un alliage métallique, par exemple en acier inoxydable. Les tôles métalliques ondulées 81 sont soudées les unes aux autres par recouvrement selon la technique connue. Les tôles métalliques ondulées 81 présentent une série d'ondulations 82 parallèles à l'arête 99, et une série d'ondulations 83 orthogonales à l'arête 99, ces ondulations permettant aux tôles métalliques ondulées 81 de résister aux phénomènes de contraction thermique dus au contact avec le gaz liquéfié. La référence 84 désigne des nœuds disposés aux intersections entre les ondulations 82 et 83. La référence 87 désigne des portions planes des tôles métalliques ondulées 81 entre les ondulations 82 et 83.
- [0083] Afin d'ancrer la membrane d'étanchéité primaire 80 à la barrière thermiquement isolante primaire 60, les plaques de couvercle respectives 67 et 68B des blocs primaires plans 65 et des éléments de pontage 68 portent respectivement des platines métalliques 65P et 68P, de façon connue en soi. De façon connue en soi, les blocs primaires plans 65 peuvent comporter une fente de relaxation 66R destinée à être positionnée sous une ondulation 82 correspondante.
- [0084] Le gaz liquéfié destiné à être stocké dans la cuve peut notamment être un gaz naturel liquéfié (GNL), c'est-à-dire un mélange gazeux comportant majoritairement du méthane ainsi qu'un ou plusieurs autres hydrocarbures. Le gaz liquéfié peut également

être un gaz de pétrole liquéfié (GPL), c'est-à-dire un mélange d'hydrocarbures issu du raffinage du pétrole comportant essentiellement du propane et du butane. Le gaz liquéfié peut également être de l'ammoniac, de l'hydrogène ou de l'éthane par exemple.

- [0085] Lorsqu'il est en mer, le navire est sujet à des mouvements variés liés aux conditions climatiques. Ces mouvements du navire se répercutent sur le gaz liquéfié contenu dans la cuve qui, en conséquence, est sujet à du ballonnement dans la cuve pouvant produire des impacts sur les parois de cuve. Lorsque le ballonnement dépasse la capacité des parois de cuve à absorber ou disperser le ballonnement, les impacts sur les parois de cuve peuvent provoquer des endommagements de ces parois. Or il est nécessaire de conserver l'intégrité des parois de cuve pour conserver l'étanchéité et les caractéristiques d'isolation des cuves.
- [0086] Il est donc important d'estimer une probabilité d'endommagement dû au ballonnement au moment de la conception des parois de cuve, afin de vérifier qu'elles sont suffisamment robustes. Pour cela il est utile de disposer un ou plusieurs instruments de mesure d'efforts dans les parois de cuve. Le ou les instruments de mesure d'efforts mesurent les efforts générés par les impacts de gaz liquéfié sur les parois de cuve. Les mesures obtenues grâce aux instruments de mesure d'efforts peuvent être utilisées pour estimer la probabilité d'un endommagement et/ou pour valider des estimations de cette probabilité réalisées à l'aide d'essais sur des modèles réduits de cuves.
- [0087] On décrit maintenant, en référence aux figures 3 à 8, un panneau isolant 200 muni d'un instrument de mesure d'efforts 300 qui peut être intégré dans les parois de cuve décrites ci-dessus.
- [0088] La [Fig.3] est une vue en perspective d'ensemble du panneau isolant 200. Le panneau isolant 200 comporte un élément d'isolation thermique secondaire 220, un élément de membrane d'étanchéité secondaire 260, et un élément d'isolation thermique primaire 270.
- [0089] L'élément d'isolation thermique secondaire 220 comporte une plaque de fond 230, par exemple en bois contreplaqué, sur laquelle est disposé un bloc 240 de mousse thermiquement isolante (cf. [Fig.3] et [Fig.4]), par exemple de la mousse de polyuréthane optionnellement renforcée de fibres de verre. Le bloc 240 peut par exemple être collé à la plaque de fond 230. Une plaque de couvercle secondaire 250, par exemple en bois contreplaqué, est disposée sur le bloc 240. Le bloc 240 peut par exemple être collé à la plaque de couvercle secondaire 250.
- [0090] L'élément de membrane d'étanchéité secondaire 260 est disposé sur la plaque de couvercle secondaire 250 et recouvre toute la plaque de couvercle secondaire 250.
- [0091] L'élément d'isolation thermique primaire 270 comporte un bloc 271 de mousse thermiquement isolante, par exemple de la mousse de polyuréthane optionnellement

renforcée de fibres de verre. Une plaque de couvercle primaire 272, par exemple en bois contreplaqué, est disposée sur le bloc 271. Le bloc 271 peut par exemple être collé à la plaque de couvercle 272. Des douilles filetées 275 sont installées sur la plaque de couvercle 272 et peuvent être utilisées pour maintenir divers outils servant au montage de la paroi de cuve.

[0092] Le bloc 271 est disposé sur une portion centrale de l'élément d'étanchéité secondaire 260 à distance des bords de l'élément d'isolation thermique secondaire 220. Il comporte dans son épaisseur une fente de relaxation 272R analogue à la fente de relaxation 66R, porte en outre des platines métalliques 272P analogues aux platines métalliques 65P et 68P pour l'ancrage de la membrane d'étanchéité primaire 80. Le bloc 271 est fixé à l'élément de membrane d'étanchéité secondaire 260, par exemple par collage, et est ainsi indirectement fixé à la plaque de couvercle 250.

[0093] Le panneau isolant 200 a vocation à être fourni sous la forme d'un élément préfabriqué en dehors de l'espace interne de la cuve et présentant des dimensions standardisées. Plus précisément, le panneau isolant 200 présente de préférence des dimensions extérieures, et notamment une largeur b (cf. [Fig.2A], [Fig.2B] et [Fig.3]), qui sont identiques à celles d'un élément isolant préfabriqué constitué d'un panneau plan 35 et d'un bloc primaire plan 65 comme on l'a décrit ci-dessus. Ainsi, si l'on souhaite munir une paroi de cuve d'instruments de mesure 300 décrits ci-après, il suffit de disposer un panneau isolant 200 à chaque emplacement souhaité dans la paroi de cuve, en lieu et place d'un élément isolant préfabriqué, sans qu'une quelconque modification de la paroi de cuve soit nécessaire.

[0094] On voit également sur la [Fig.4] des cordons de mastic 989 pouvant être disposés entre le panneau isolant 200 et la paroi transversale 2, de façon connue en soi.

[0095] Comme cela est mieux visible sur la [Fig.4], un évidement 500 est pratiqué dans l'élément d'isolation thermique primaire 270. L'évidement 500 est parallélépipédique et traverse l'élément d'isolation thermique primaire 270 dans une direction d'épaisseur du panneau isolant 200. L'évidement 500 débouche sur la surface supérieure du panneau isolant 200. Une plaque de fixation 550 est disposée au fond de l'évidement 500 sur l'élément de membrane d'étanchéité secondaire 260.

[0096] La plaque de fixation 550 est par exemple réalisée en bois contreplaqué.

[0097] L'évidement 500 forme un volume de réception pour recevoir un instrument de mesure d'efforts 300. Un mode de réalisation de l'instrument de mesure d'efforts 300 (ci-après désigné par « l'instrument 300 » par commodité) va être décrit ci-après en référence aux figures 4 à 8.

[0098] La [Fig.5] est une vue éclatée et en perspective d'une partie de l'instrument 300, et montre ainsi des composants de l'instrument 300. L'instrument 300 comprend une plaque d'impact de force 310, une contre-plaque 315, un premier cadre de maintien

320, un deuxième cadre de maintien 330 et une plaque d'appui 340 (non représentée sur la [Fig.5] par mesure de clarté mais visible à la [Fig.6A]). La [Fig.6A] est une vue en perspective de l'instrument 300 à l'état monté et d'un côté opposé à la vue de la [Fig.5].

- [0099] La plaque d'impact de force 310 présente une forme parallélépipédique. La plaque d'impact de force 310 présente une surface d'impact de force 319 (cf. [Fig.3] et [Fig.6A]) destinée à être positionnée sous une portion plane 87 d'une des tôles métalliques ondulées 81 constituant la membrane d'étanchéité primaire 80. Un ou plusieurs capteurs d'efforts 318 (cf. [Fig.5] et [Fig.8]) mesurent un effort appliqué à la surface d'impact de force 319 à travers la portion plane 87 comme on va le détailler plus loin.
- [0100] Le premier cadre de maintien 320 présente une forme extérieure parallélépipédique, et présente en son centre un premier espace central creux 329 pour recevoir la plaque d'impact de force 310, la contre-plaque 315, et le deuxième cadre de maintien 330 monté sur la contre-plaque 315.
- [0101] Le deuxième cadre de maintien 330 présente une forme extérieure parallélépipédique, et présente en son centre un deuxième espace central creux 339 pour entourer une partie de la contre-plaque 315. Par exemple, le deuxième cadre de maintien 330 est constitué de quatre éléments de maintien 331 joints bout à bout pour délimiter le deuxième espace central creux 339. Le deuxième cadre de maintien 330 comporte une pluralité de trous traversants 332 pour recevoir des éléments de fixation 333, ici des vis, fixant chaque élément de maintien 331 du deuxième cadre de maintien 330 à la contre-plaque 315. Des trous borgnes correspondant aux trous traversants 332 sont pratiqués dans la contre-plaque 315 pour recevoir les éléments de fixation 333.
- [0102] Comme cela est visible sur la [Fig.8], afin de faciliter le montage de la contre-plaque 315 au deuxième cadre de maintien 330, chacun des éléments de maintien 331 peut comporter une protubérance 336 destinée à être reçue dans une gorge 316 correspondante de la contre-plaque 315.
- [0103] Toujours en référence à la [Fig.5], et aussi en référence à la [Fig.8], le premier cadre de maintien 320 présente un renforcement 325 sur lequel le deuxième cadre de maintien 330 vient reposer lorsque la contre-plaque 315 montée au deuxième cadre de maintien 330 est reçue dans le premier espace central creux 329.
- [0104] Le renforcement 325 est tourné vers une plaque d'appui 340. En référence à la [Fig.4], la plaque d'appui 340 est destinée à être disposée entre le premier cadre de maintien 320 et la plaque de fixation 550 lorsque l'instrument 300 est reçu dans l'évidement 500.
- [0105] En référence maintenant à la [Fig.6A] et à la [Fig.7], le premier cadre de maintien 320 comporte, au voisinage de ses quatre coins, quatre trous traversants 321 pour

recevoir des éléments de fixation 323 fixant le premier cadre de maintien 320 à la plaque de fixation 550 (non représentée sur la [Fig.6A] et la [Fig.7]). Des trous traversants 342 sont pratiqués dans la plaque d'appui 340 (cf. [Fig.7]) et des trous borgnes 552 sont pratiqués dans la plaque de fixation 550 (cf. [Fig.10]) pour recevoir les éléments de fixation 323.

- [0106] Dans l'exemple représenté, les éléments de fixation 323 sont des vis. En référence à la [Fig.7], une vis 323 comporte une tige 323A filetée à une de ses extrémités, et une tête de vis 323B à l'autre extrémité de la tige 323A. Lorsque la vis 323 est serrée, le premier cadre de maintien 320 est maintenu en appui sur la plaque d'appui 340 et la plaque de fixation 550, et de ce fait, le premier cadre de maintien 320 maintient la contre-plaque 315 en position contre la plaque d'appui 340 et la plaque de fixation 550 par l'intermédiaire du deuxième cadre de maintien 330.
- [0107] Afin de bloquer la vis 323 en rotation, un point de soudure (non représenté) peut être réalisé sur la tête de vis 323B, et/ou la tête de vis 323B peut être serrée sur une rondelle 324C comportant une languette 324C1 (cf. [Fig.6B]), la languette 324C1 étant reçue dans une encoche 321S correspondante (cf. [Fig.6A] et [Fig.6B]) que présente le trou traversant 321.
- [0108] En référence à la [Fig.4] et à la [Fig.8], la contre-plaque 315 présente une section transversale telle que, lorsque la plaque d'impact de force 310 et la contre-plaque 315 sont assemblées l'une à l'autre, un espace interne 314 (cf. [Fig.8]) est ménagé entre la plaque d'impact de force 310 et la contre-plaque 315, au niveau d'une région centrale de la contre-plaque 315. Chaque capteur d'effort 318 comprend une vis 318C et une cellule piézoélectrique 318Q, par exemple une rondelle piézoélectrique. La rondelle piézoélectrique 318Q peut par exemple être réalisée en quartz. La vis 318C traverse un trou traversant 317 pratiqué dans la contre-plaque 315, et est vissée dans un trou borgne taraudé 311 pratiqué dans la plaque d'impact de force 310. La rondelle piézoélectrique 318Q est emmanchée autour de la vis 318C. La rondelle piézoélectrique 318Q est reçue dans l'espace interne 314 de telle sorte que la plaque d'impact 310 et la contre-plaque 315 compriment la rondelle piézoélectrique 318Q.
- [0109] La flèche en trait mixte sur les figures 6A et 8 indique le sens et la direction d'un effort F appliqué à la surface d'impact de force 319 disposée sous la portion plane 87 de la membrane d'étanchéité 80. Lorsque l'effort F est appliqué à la surface d'impact de force 319, la plaque d'impact de force 310 comprime davantage la rondelle piézoélectrique 318Q contre la contre-plaque 315. La compression accrue de la rondelle piézoélectrique 318Q génère un signal électrique représentatif de l'effort F. Ainsi, l'instrument 300 permet d'obtenir une mesure de l'effort F. L'effort F peut être généré par un impact de gaz liquéfié sur la paroi de cuve comme on l'a mentionné ci-dessus.
- [0110] La plaque d'impact de force 310 et la contre-plaque 315 sont dimensionnées de telle

sorte qu'il existe, au niveau d'une région périphérique de la contre-plaque 315 (c'est-à-dire autour de l'espace interne 314), un certain jeu 850 entre la plaque d'impact de force 310 et la contre-plaque 315 en condition opérationnelle. Par « en condition opérationnelle », on entend désigner une condition dans laquelle la cuve est remplie de gaz liquéfié et la paroi de cuve est à l'équilibre thermique avec le gaz liquéfié. Le jeu 850 peut être compris entre 0,1 mm et 0,5 mm par exemple. Il est à noter que le jeu 850 a été exagéré sur la [Fig.8] pour la lisibilité du dessin.

- [0111] En outre, la plaque d'impact de force 310 et le premier cadre de maintien 320 sont dimensionnés de telle sorte qu'il existe un certain jeu 800 entre le premier cadre de maintien 320 et la plaque d'impact de force 310 lorsque cette dernière est reçue dans le premier espace central creux 329. Le jeu 800 permet à la plaque d'impact de force 310 de se déformer perpendiculairement à la direction d'épaisseur du panneau isolant 200 en réponse à l'effort F sans risquer d'endommager le premier cadre de maintien 320. Le jeu 800 peut être compris entre 1 mm et 3 mm par exemple.
- [0112] En revenant à la [Fig.5], on notera en outre que le premier cadre de maintien 320 s'étend sur toute la hauteur de l'ensemble constitué par la plaque d'impact de force 310 et la contre-plaque 315, tandis que le deuxième cadre de maintien 330 ne s'étend que sur une partie de la hauteur de la contre-plaque 315.
- [0113] Les capteurs d'efforts 318 sont ici au nombre de quatre. En variante, tout autre nombre de capteurs d'efforts 318 et/ou toute autre disposition des capteurs d'efforts 318 peuvent être envisagés. En outre, en variante, les capteurs d'efforts 318 peuvent être réalisés d'un grand nombre d'autres façons, tant qu'ils permettent de mesurer un effort appliqué à la surface d'impact de force 319 disposée sous la portion plane 87.
- [0114] L'instrument 300 comprend en outre un câble de connexion 380 servant à transmettre des signaux provenant des capteurs d'efforts 318, ici provenant des rondelles piézo-électriques 318Q.
- [0115] En référence à la [Fig.5], à la [Fig.6A] et à la [Fig.6B], le premier cadre de maintien 320 comporte un trou traversant 379 permettant au câble de connexion 380 de traverser le premier cadre de maintien 320 et de déboucher sur la surface supérieure du premier cadre de maintien 320, sous la membrane d'étanchéité primaire 80.
- [0116] En référence à la [Fig.5] et à la [Fig.6B], le premier cadre de maintien 320 comporte une gorge 377 en communication avec le trou traversant 379 pour recevoir le câble de connexion 380 et ainsi faciliter l'installation et le maintien en place du câble de connexion 380. En référence à la [Fig.5], la gorge 377 peut comporter une encoche 378 pour recevoir une portion enroulée 388 du câble de connexion 380 et ainsi encore faciliter l'installation et le maintien en place du câble de connexion 380.
- [0117] En référence à la [Fig.5] et à la [Fig.8], le renforcement 325 comporte, tout autour du premier espace central creux 329, une rainure 325R. La rainure 325R reçoit un joint

390, le joint 390 contribuant notamment à maintenir en position le deuxième cadre de maintien 330, et donc la contre-plaque 315 et la plaque d'impact de force 310, par rapport au premier cadre de maintien 320 lorsque l'instrument 300 est assemblé. Le joint 390 est interrompu, de préférence en un unique emplacement, pour laisser passer le câble de connexion 380.

- [0118] La plaque d'impact de force 310 et/ou la contre-plaque 315 sont de préférence métalliques, par exemple en titane, afin d'assurer une tenue mécanique satisfaisante de l'instrument 300 tout en limitant sa masse.
- [0119] Le premier cadre de maintien 320 est de préférence réalisé en bois contreplaqué.
- [0120] Le deuxième cadre de maintien 330 est de préférence métallique, par exemple en titane.
- [0121] La plaque d'appui 340 est de préférence réalisée en bois contreplaqué.
- [0122] En complément des fixations décrites ci-dessus au moyen des éléments de fixation 333 et 323, la plaque d'appui 340 peut être collée à la plaque de fixation 550 et/ou le premier cadre de maintien 320 peut être collé à la plaque d'appui 340. Le deuxième cadre de maintien 330 et/ou la contre-plaque 315 peuvent aussi être collés en 350 (cf. [Fig.8]) à la plaque d'appui 340. Dans tous les cas, la colle utilisée pour cela peut être une colle époxy ou polyuréthane par exemple.
- [0123] Le câble de connexion 380 peut également être collé au renforcement 325 au voisinage de l'emplacement où le câble de connexion 380 franchit le joint 390. Ici aussi, la colle utilisée pour cela peut être une colle époxy ou polyuréthane par exemple.
- [0124] Dans certaines variantes non représentées, la plaque d'appui 340 peut être omise et le premier cadre de maintien 320 repose alors directement sur la plaque de fixation 550.
- [0125] Dans une autre variante non représentée, la plaque d'appui 340 est également omise et la plaque de fixation 550 est remplacée par un élément, de préférence en une seule pièce, tel qu'un bloc de mousse. Dans ce cas, la plaque de couvercle secondaire 250 peut être omise, autrement dit l'élément de membrane d'étanchéité secondaire 260 est disposé sur le bloc 240 et recouvre tout le bloc 240.
- [0126] Ainsi, quelle que soit la variante choisie, un élément planaire de support est disposé dans l'évidement 500. L'élément planaire de support est alors composé de la plaque de fixation 550 ou d'un bloc de mousse.
- [0127] Comme on l'a mentionné ci-dessus, l'instrument 300 est prévu pour être reçu dans l'évidement 500 d'un panneau isolant 200, le panneau isolant 200 étant à son tour prévu pour être intégré dans les parois de cuve. À titre d'illustration, on a représenté sur la [Fig.10] une vue partielle dépliée de la structure porteuse 1, et des positions possibles de plusieurs panneaux isolants 200. Chaque panneau isolant 200 muni, dans l'exemple de la [Fig.3], d'un seul instrument 300 est intégré dans une paroi de cuve et disposé de préférence au voisinage d'une arête 99 de la structure porteuse 1. De cette

manière, les mesures acquises par chaque instrument 300 peuvent être représentatives d'efforts dus à des impacts de gaz liquéfié sur les parois de cuve, au voisinage des arêtes 99. Les mesures acquises par chaque instrument 300 sont transmises, via les câbles de connexion 380 décrits ci-dessus et des faisceaux 910 de câbles de transmission (représentés schématiquement en pointillés sur la [Fig.9]), à un système d'acquisition de données 900 extérieur à la cuve. Le système d'acquisition de données 900 peut stocker les données pour un traitement de données ultérieur et/ou les transmettre à un système de traitement de données extérieur. En variante, les mesures acquises par chaque instrument 300 peuvent être transmises au système d'acquisition de données 900 par le biais d'une connexion sans fil appropriée.

- [0128] Comme on l'a mentionné ci-dessus, le panneau isolant 200 a vocation à être fourni sous la forme d'un élément préfabriqué en dehors de l'espace interne de la cuve et présentant des dimensions standardisées, que l'on peut disposer à chaque emplacement souhaité en lieu et place d'un élément isolant préfabriqué constitué d'un panneau plan 35 et d'un bloc primaire plan 65. Toutefois, pour éviter tout risque d'endommagement de l'instrument 300 lors de l'installation du panneau isolant 200 dans la cuve, il peut être préférable de fournir le panneau isolant 200 où, à la place de l'instrument 300, un bloc inerte 400 est disposé dans l'évidement 500.
- [0129] Le bloc inerte 400 ne comporte aucun instrument de mesure et plus généralement n'a aucune fonction autre que mécanique. Par exemple le bloc inerte 400 peut être un bloc, de préférence plein, de bois contreplaqué.
- [0130] En tout état de cause, le bloc inerte 400 présente les mêmes dimensions extérieures que l'instrument 300, de façon à pouvoir être aisément installé dans et retiré de l'évidement 500. Ainsi, au cours d'une première étape, on apporte dans l'espace interne de la cuve le panneau isolant 200 avec le bloc inerte 400 fixé à la plaque de fixation 550. Pour cela, par exemple, en référence à la [Fig.10], le bloc inerte 400 comporte des trous traversants 402A disposés en regard des trous borgnes 552 de la plaque de fixation 550, et le bloc inerte 400 est fixé à la plaque de fixation 550 au moyen de vis de fixation 404A reçues dans les trous traversants 402A et les trous borgnes 552. En outre, le bloc inerte 400 peut comporter des trous taraudés 402B, traversants ou borgnes, pour recevoir des douilles filetéées 275 identiques à celles du panneau isolant 200. Ces douilles filetéées, comme celles décrites précédemment, peuvent être utilisées pour maintenir divers outils servant au montage de la paroi de cuve.
- [0131] Ensuite, au cours d'une deuxième étape, on dispose le panneau isolant 200 à son emplacement souhaité, et on juxtapose les autres éléments isolants préfabriqués à leurs emplacements souhaités, de façon à constituer le reste de la barrière thermiquement isolante primaire 60, selon la technique connue.

- [0132] Ensuite, au cours d'une troisième étape, on retire le bloc inerte 400 de l'évidement 500, et on installe l'instrument 300 dans l'évidement 500, en le fixant à la plaque de fixation 550 comme on l'a décrit précédemment. Ainsi, l'instrument 300 est de préférence collé sur l'élément planaire de support mentionné ci-dessus.
- [0133] On comprend bien que puisque l'instrument 300 a vocation à être positionné sous une portion plane 87 d'une des tôles métalliques ondulées 81 constituant la membrane d'étanchéité primaire 80, le retrait du bloc inerte 400 suivi de l'installation de l'instrument 300 dans l'évidement 500 est de préférence effectué avant d'installer la membrane d'étanchéité primaire 80.
- [0134] La [Fig.11] montre partiellement le panneau isolant 200 avec l'instrument 300 installé dans l'évidement 500. On voit également sur la [Fig.11] des renforts d'onde 600 et 650. Chaque renfort d'onde 600 (respectivement 650) est prévu pour être installé sous une ondulation 82 (respectivement 83) d'une tôle métallique ondulée 81, afin de renforcer la membrane d'étanchéité primaire 80, selon les principes décrits par exemple dans les documents WO 2017/017337 A1 ou WO 2019/150054 A1.
- [0135] En référence aux figures 11 à 13, un renfort d'onde 600 comporte une semelle 620 et une portion de renfort 610.
- [0136] La semelle 620 comporte une paroi inférieure 627 destinée à reposer sur la barrière thermiquement isolante primaire 60, et des parois latérales 628 et une paroi supérieure 629. Les parois 627, 628, 629 délimitent un espace interne creux de la semelle 620.
- [0137] La portion de renfort 610 comporte une paroi externe 619. Cette paroi externe 619 est de préférence de forme complémentaire à la forme de l'ondulation 82.
- [0138] La portion de renfort 610 est creuse et comporte avantageusement des voiles internes 612 afin de renforcer ladite portion de renfort 610. Comme représenté sur les figures 11 à 13, les voiles internes 612 se croisent sensiblement au centre de la portion de renfort 610.
- [0139] Un renfort d'onde 650 comporte une semelle 670 et une portion de renfort 660.
- [0140] De façon analogue à la semelle 620, la semelle 670 comporte une paroi inférieure (non représentée) destinée à reposer sur la barrière thermiquement isolante primaire 60, des parois latérales et une paroi supérieure (non représentées), ces parois délimitant un espace interne creux de la semelle 670.
- [0141] La portion de renfort 660 comporte une paroi externe 669. Cette paroi externe 669 est de préférence de forme complémentaire à la forme de l'ondulation 83.
- [0142] La portion de renfort 660 est creuse et comporte avantageusement des voiles internes 662 afin de renforcer ladite portion de renfort 660. Comme représenté sur les figures 11 et 12, les voiles internes 662 se croisent sensiblement au centre de la portion de renfort 660.
- [0143] Pour relier deux renforts d'onde 600 et deux renforts d'onde 650 au niveau d'un

nœud 84 (non représenté sur les figures 11 et 12 par mesure de lisibilité), il est prévu sous le nœud 84 un organe de liaison 700, qui est mieux visible sur la [Fig.12]. Sur la [Fig.12], on voit que l'organe de liaison 700 présente une forme de croix. Ainsi, l'organe de liaison 700 comporte un manchon 701 formant deux premières pattes opposées 702. Comme illustré sur les figures 11 et 12, les premières pattes 702 traversent des entretoises rapportées 710 et sont logées dans les espaces internes creux des semelles 620 des renforts d'onde 600 se joignant au niveau du nœud 84. Deux deuxième pattes 703 (dont une seule est visible sur la [Fig.12]) permettent le maintien des deux renforts d'onde 650 (dont l'un a été omis sur la [Fig.12] pour permettre de visualiser la deuxième patte 703 correspondante). Ces deuxième pattes 703 sont intégrées au manchon 701 et font saillie latéralement dudit manchon 701 de manière à être logées dans les espaces internes creux des semelles 670 des deux renforts d'onde 650 au niveau du nœud 84.

- [0144] Toujours en référence à la [Fig.11] et à la [Fig.12], sur le manchon 701, il est disposé une plaque de support 720 destinée à assurer la retenue d'au moins un câble de transmission 911 au-dessus du manchon 701. La plaque de support 720 présente deux pattes 721 opposées. Chaque patte 721 est destinée à être reçue dans un espace creux que comporte la portion de renfort 660 du renfort d'onde 650 en regard. Dans l'exemple représenté, la patte 721 est reçue dans un espace creux délimité par une paroi supérieure de la semelle 670 et par les deux voiles internes 662 les plus proches de la semelle 670. Un tel positionnement permet d'assurer la tenue de la plaque de support 720 sur le manchon 701. La plaque de support 720 tend à assurer le bon positionnement des câbles de transmission 911 ainsi que leur bonne orientation par rapport aux pièces environnantes.
- [0145] Sur la [Fig.11], on voit qu'une plaque de support 720 est emmanchée sur deux goujons filetés 730. Sur chaque goujon fileté 730, un écrou 731 peut être vissé contre une rondelle 732. Ces goujons filetés 730 peuvent notamment servir à la fixation d'une plaque d'appui de connecteur 740 ou d'une portion de guidage de câble 733 d'un ou plusieurs câbles de transmission 911 qui seront décrits par la suite.
- [0146] Sur la [Fig.12], on voit une plaque de support 720 destinée à supporter plusieurs câbles de transmission 911. Deux câbles de transmission 911 s'étendent à travers les espaces creux déjà décrits du renfort d'onde 600 situé à gauche sur la [Fig.12]. Une plaque d'appui de connecteur 740, de forme rectangulaire par exemple, est emmanchée sur un goujon fileté 730. La plaque d'appui de connecteur 740 présente deux évidements pour recevoir deux connecteurs 742 (cf. [Fig.12] et [Fig.13], la [Fig.13] étant une vue en section de la [Fig.12] au niveau de la plaque d'appui de connecteur 740). Chaque connecteur 742 assure une connexion électrique entre deux câbles de transmission 911 (cf. [Fig.12]) en regard. Pour maintenir en place les connecteurs 742,

une contre-plaque 748 (cf. [Fig.13]) est emmanchée sur le goujon fileté 730. La contre-plaque 748 présente deux évidements en regard des évidements de la plaque d'appui de connecteur 740. La contre-plaque 748 est maintenue en appui contre la plaque d'appui de connecteur 740 par l'écrou 731 vissé sur le goujon fileté 730. La contre-plaque 748 maintient ainsi en position les connecteurs 742, et de ce fait maintient en position les extrémités respectives des câbles de transmission 911.

[0147] De préférence, l'écrou 731 est fendu. Une plaquette 750 (cf. [Fig.11] et [Fig.13]) peut être disposée entre la rondelle 732 et la contre-plaque 748 de façon à recouvrir la contre-plaque 748.

[0148] En variante, un connecteur 742 peut assurer une connexion entre un câble de connexion 380 provenant d'un instrument 300 voisin de la plaque d'appui de connecteur 740 et un câble de transmission 911. Pour cela, comme cela est visible sur la [Fig.11], le panneau isolant 200 et l'instrument 300 peuvent être disposés de telle sorte que le trou traversant 379 débouche à proximité de la plaque d'appui de connecteur 740.

[0149] La configuration décrite ci-dessus peut également être employée pour guider des câbles de transmission 911 à travers des renforts d'onde 600 et/ou 650 successifs. Pour cela, comme représenté sur la [Fig.14], une rondelle 732 comporte une portion de guidage de câble 733. La portion de guidage de câble 733 est creuse, de sorte qu'un câble de transmission 911 peut être enfilé à travers la portion de guidage de câble 733. La portion de guidage de câble 733 contribue ainsi à maintenir le câble de transmission 911. En outre, le câble de transmission 911 s'étend à travers un espace creux 615 délimité par deux voiles internes 612 et par la paroi externe 619 d'un renfort d'onde 600. La partie de guidage de câble 733 contribue ainsi à orienter le câble de transmission 911 vers l'espace creux 615. La rondelle 732 est en appui contre une plaque de support de câbles 770 emmanchée sur les goujons filetés 730 de façon analogue à la plaque de support 720.

[0150] Un grand nombre de dispositions est possible pour les câbles de transmission 911. Notamment, comme représenté sur la [Fig.14], s'il est souhaité de faire cheminer un seul câble de transmission 911, un seul des deux goujons filetés 730 peut être muni d'une rondelle 732 portant une portion de guidage de câble 733.

[0151] On précise en outre que les instruments 300 sont installés sur les panneaux isolants 200 de sorte que la surface d'impact de force 319 est légèrement en saillie de la plaque de couvercle primaire 272 en condition opérationnelle. De préférence, en condition opérationnelle, la surface d'impact de force 319 est en saillie de moins de 2 mm de la plaque de couvercle primaire 272, ceci afin de limiter le risque que la portion plane 87 ne soit déformée par la plaque d'impact de force 310. Inversement, lorsque la paroi de cuve est à l'équilibre thermique à température ambiante (par exemple à +20°C), la

surface d'impact de force 319 est en retrait par rapport à la plaque de couvercle primaire 272. Ceci est obtenu grâce aux différences de coefficient de contraction thermique entre la plaque de couvercle primaire 272, le premier cadre de maintien 320 et la plaque d'impact de force 310. Notamment, lorsque la plaque de couvercle primaire 272 et le premier cadre de maintien 320 sont en bois contreplaqué et la plaque d'impact de force 310 est métallique, par exemple en titane, la contraction thermique plus importante du bois contreplaqué amène à ce que la surface d'impact de force 319 soit en saillie en condition opérationnelle mais non à température ambiante.

- [0152] Le dôme combiné 6 étant fixé au sommet de la structure porteuse 1 (cf. [Fig.1]), la membrane d'étanchéité primaire 80 peut ne pas être renforcée par des renforts d'onde 600, 650 au voisinage du dôme combiné 6. En référence à la [Fig.15], pour néanmoins guider les câbles de transmission 911 jusqu'au dôme combiné 6, on dispose des tubes de guidage 870 sous les ondulations 82, 83, et on fait passer les câbles de transmission 911 (non représentés sur la [Fig.15]) à travers les tubes de guidage 870. Les tubes de guidage 870 sont fixés à la barrière thermiquement isolante primaire 60 au moyen de cavaliers 874.
- [0153] Les tubes de guidage 870 se rencontrent au niveau d'une pièce de fixation cruciforme 880. La pièce de fixation 880 porte notamment des goujons filetés 730 et des rondelles 732 munies de parties de guidage de câble 733 analogues à ceux décrits précédemment en référence aux figures 11 à 14. La pièce de fixation 880 est maintenue en place par les tubes de guidage 870 ; dans un exemple, la pièce de fixation 880 est soudée par points aux tubes de guidage 870. Les tubes de guidage 870 sont également soudés aux cavaliers 874 afin d'éviter que les tubes de guidage 870 se contractent et ne maintiennent plus en place la pièce de fixation 880.
- [0154] En référence à la [Fig.16], un navire de transport de marchandises 1070 comprend une coque 1094 et peut supporter sur son pont 1093 une cargaison 1092. Ce navire est propulsé à l'aide d'un système de propulsion 1095 qui utilise comme carburant du gaz naturel liquéfié. De manière à stocker une quantité suffisante de gaz naturel liquéfié pour sa propulsion, le navire 1070 comprend une cuve étanche et isolante T pouvant transporter une certaine quantité de gaz naturel liquéfié.
- [0155] La paroi de la cuve T comporte une membrane d'étanchéité primaire destinée à être en contact avec le GNL contenu dans la cuve T, une membrane d'étanchéité secondaire agencée entre la membrane d'étanchéité primaire et la coque du navire 1070, et deux barrières thermiquement isolantes agencées respectivement entre la membrane d'étanchéité primaire et la membrane d'étanchéité secondaire et entre la membrane d'étanchéité secondaire et la coque.
- [0156] De manière connue en soi, des canalisations de chargement/déchargement peuvent être raccordées, au moyen de connecteurs appropriées, à un terminal maritime ou

portuaire pour transférer une cargaison de GNL depuis ou vers la cuve T.

- [0157] La [Fig.16] représente un exemple de terminal maritime comportant un poste de chargement et de déchargement 75, une conduite sous-marine 76 et une installation à terre 77. Le poste de chargement et de déchargement 75 est une installation fixe off-shore comportant un bras mobile 74 et une tour 78 qui supporte le bras mobile 74. Le bras mobile 74 porte au moins un tuyau flexible isolé 79 destiné à alimenter la cuve T. Le bras mobile 74 orientable s'adapte à tous les gabarits de navires. Une conduite de liaison non représentée s'étend à l'intérieur de la tour 78. Le poste de chargement et de déchargement 75 permet le chargement et le déchargement du navire 1070 depuis ou vers l'installation à terre 77. Celle-ci comporte des cuves de stockage de gaz liquéfié 80 et des conduites de liaison 81 reliées par la conduite sous-marine 76 au poste de chargement ou de déchargement 75. La conduite sous-marine 76 permet le transfert du gaz liquéfié entre le poste de chargement ou de déchargement 75 et l'installation à terre 77 sur une grande distance, par exemple 5 km, ce qui permet de garder le navire 1070 à grande distance de la côte pendant les opérations de chargement et de déchargement.
- [0158] Pour engendrer la pression nécessaire au transfert du gaz liquéfié, on met en œuvre des pompes embarquées dans le navire 1070 et/ou des pompes équipant l'installation à terre 77 et/ou des pompes équipant le poste de chargement et de déchargement 75.
- [0159] Bien que l'invention ait été décrite en liaison avec plusieurs modes de réalisation particuliers, il est bien évident qu'elle n'y est nullement limitée et qu'elle comprend tous les équivalents techniques des moyens décrits ainsi que leurs combinaisons si celles-ci entrent dans le cadre de l'invention.
- [0160] L'usage du verbe « comporter », « comprendre » ou « inclure » et de ses formes conjuguées n'exclut pas la présence d'autres éléments ou d'autres étapes que ceux énoncés dans une revendication.
- [0161] Dans les revendications, tout signe de référence entre parenthèses ne saurait être interprété comme une limitation de la revendication.

Revendications

- [Revendication 1] Panneau isolant (200) convenant pour la fabrication d'une paroi de cuve étanche et thermiquement isolante, le panneau isolant (200) comprenant :
- un élément d'isolation thermique secondaire (220), de forme parallélépipédique, et comportant une plaque de fond (230) et un bloc thermiquement isolant secondaire (240) disposé sur la plaque de fond (230) ;
 - un élément de membrane d'étanchéité secondaire (260) disposé sur l'élément d'isolation thermique secondaire (220) ;
 - un élément d'isolation thermique primaire (270), présentant une forme parallélépipédique, et comportant un bloc thermiquement isolant primaire (271) et une plaque de couvercle primaire (272) disposée sur le bloc thermiquement isolant primaire (271), ledit élément d'isolation thermique primaire (270) présentant au moins un évidement (500) parallélépipédique traversant l'élément d'isolation thermique primaire (270) dans une direction d'épaisseur, et un élément planaire de support disposé au fond dudit évidement (500) sur l'élément de membrane d'étanchéité secondaire (260), de façon à former au moins un volume de réception pour un instrument de mesure d'efforts (300) entre l'élément planaire de support et une surface supérieure de l'élément d'isolation thermique primaire (270), le volume de réception débouchant sur la surface supérieure de l'élément d'isolation thermique primaire (270).
- [Revendication 2] Panneau isolant (200) selon la revendication 1, comprenant en outre un instrument de mesure d'efforts (300) reçu dans le volume de réception et reposant sur l'élément planaire de support, et dans lequel l'instrument de mesure d'efforts (300) comprend une plaque d'impact de force (310) présentant une surface d'impact de force (319) en saillie de la plaque de couvercle primaire (272) en condition opérationnelle.
- [Revendication 3] Panneau isolant (200) selon la revendication 2, dans lequel la surface d'impact de force (319) est en saillie de moins de 2 mm de la plaque de couvercle primaire (272) en condition opérationnelle.
- [Revendication 4] Panneau isolant (200) selon l'une quelconque des revendications 2 à 3, dans lequel l'instrument de mesure d'efforts (300) comprend en outre :
- une contre-plaque (315) assemblée à la plaque d'impact de force (310) ;
 - un premier cadre de maintien (320) présentant une surface supérieure

dans le prolongement de la plaque de couvercle primaire (272), une surface inférieure du côté opposé à la surface supérieure, et un espace central creux (329) recevant la plaque d'impact de force (310) et la contre-plaque (315) ; et

- un deuxième cadre de maintien (330),

le premier cadre de maintien (320) présentant un renforcement (325) tourné vers l'élément planaire de support,

la contre-plaque (315) étant fixée au deuxième cadre de maintien (330),

et le deuxième cadre de maintien (330) étant reçu dans le renforcement (325) du premier cadre de maintien (320).

- [Revendication 5] Panneau isolant (200) selon la revendication 4, dans lequel le premier cadre de maintien (320) est réalisé en bois contreplaqué et/ou le deuxième cadre de maintien (330) est réalisé en titane.
- [Revendication 6] Panneau isolant (200) selon l'une quelconque des revendications 4 à 5, dans lequel l'instrument de mesure d'efforts (300) comprend en outre une plaque d'appui (340) disposée entre le premier cadre de maintien (320) et l'élément planaire de support.
- [Revendication 7] Panneau isolant (200) selon la revendication 6, dans lequel la plaque d'appui (340) est réalisée en bois contreplaqué.
- [Revendication 8] Panneau isolant (200) selon l'une quelconque des revendications 4 à 7, dans lequel l'instrument de mesure d'efforts (300) présente, entre la plaque d'impact de force (310) et le premier cadre de maintien (320), un jeu (800) compris entre 1 mm et 3 mm.
- [Revendication 9] Panneau isolant (200) selon l'une quelconque des revendications 4 à 8, dans lequel l'élément planaire de support comprend une plaque de fixation (550), le premier cadre de maintien (320) étant fixé à la plaque de fixation (550) au moyen d'une pluralité d'éléments de fixation externes (323) traversant le premier cadre de maintien (320) et reçus dans des trous borgnes de fixation externe (552) correspondants que présente la plaque de fixation (550).
- [Revendication 10] Panneau isolant (200) selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel l'élément d'isolation thermique secondaire (220) comporte en outre une plaque de couvercle secondaire (250), le bloc thermiquement isolant secondaire (240) étant disposé entre la plaque de fond (230) et la plaque de couvercle secondaire (250), et l'élément de membrane d'étanchéité secondaire (260) étant disposé sur la plaque de couvercle secondaire (250).
- [Revendication 11] Panneau isolant (200) selon l'une quelconque des revendications 4 à 10,

dans lequel la contre-plaque (315) est fixée au deuxième cadre de maintien (330) au moyen d'une pluralité d'éléments de fixation internes (333) traversant le deuxième cadre de maintien (330) et reçus dans des trous borgnes de fixation interne correspondants que présente la contre-plaque (315).

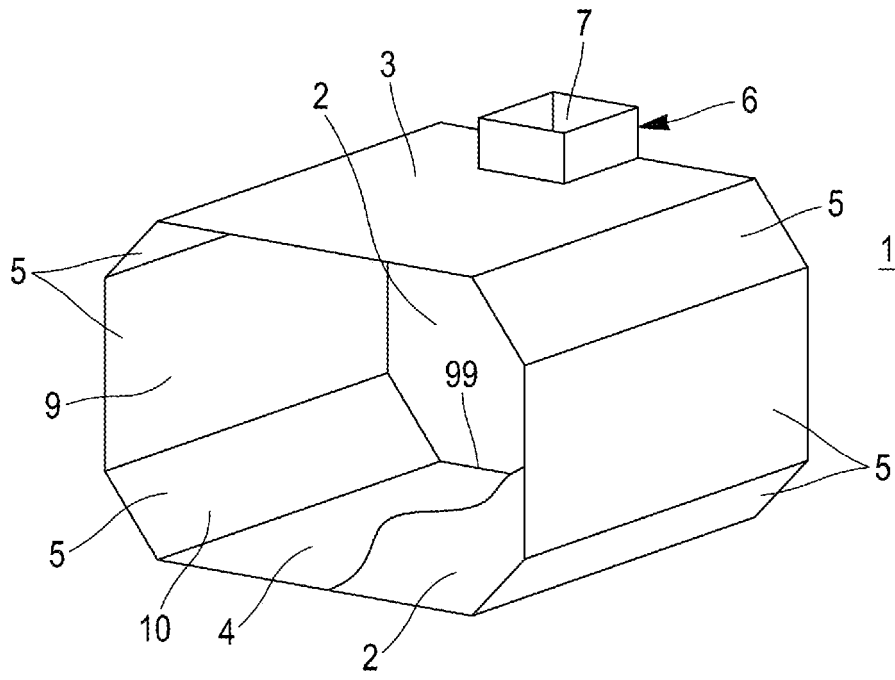
- [Revendication 12] Panneau isolant (200) selon l'une quelconque des revendications 4 à 11, dans lequel l'instrument de mesure d'efforts (300) comprend au moins un capteur piézoélectrique (318), le capteur piézoélectrique (318) incluant une cellule piézoélectrique (318Q) disposée dans un espace interne (314) ménagé entre la plaque d'impact de force (310) et la contre-plaque (315).
- [Revendication 13] Panneau isolant (200) selon la revendication 12, dans lequel l'instrument de mesure d'efforts (300) comprend en outre un câble de connexion (380) configuré pour connecter ledit au moins un capteur piézoélectrique (318) à un système d'acquisition de données (900).
- [Revendication 14] Panneau isolant (200) selon la revendication 13 prise en combinaison avec la revendication 4, dans lequel le câble de connexion (380) traverse le premier cadre de maintien (320) et débouche sur la surface supérieure du premier cadre de maintien (320).
- [Revendication 15] Cuve étanche et thermiquement isolante destinée au stockage ou au transport d'un gaz liquéfié, ladite cuve comportant une paroi de cuve fixée à une paroi porteuse (2), la paroi de cuve comportant :
- une barrière d'isolation thermique secondaire (30) disposée sur la paroi porteuse (2) ;
 - une membrane d'étanchéité secondaire (50) disposée sur la barrière d'isolation thermique secondaire (30) ;
 - une barrière d'isolation thermique primaire (60) présentant une surface de support ; et
 - une membrane d'étanchéité primaire (80) destinée à être en contact avec le gaz liquéfié contenu dans la cuve, la membrane d'étanchéité primaire (80) comportant une première série d'ondulations parallèles (82) et une deuxième série d'ondulations parallèles (83) et des portions planes (87) situées entre les ondulations (82, 83), lesdites première et deuxième séries d'ondulations s'étendant selon des directions sécantes, lesdites portions planes (87) reposant sur la surface de support de la barrière d'isolation thermique primaire (60), dans laquelle au moins une partie de la barrière d'isolation thermique secondaire (30), de la membrane d'étanchéité secondaire (50) et de la

- barrière d'isolation thermique primaire (60) sont réalisées en juxtaposant, sur la paroi porteuse (2), une pluralité d'éléments thermiquement isolants,
- dans laquelle au moins un élément thermiquement isolant est un panneau isolant (200) selon l'une quelconque des revendications 1 à 14.
- [Revendication 16] Cuve étanche et thermiquement isolante selon la revendication 15, dans laquelle des renforts d'onde (600) sont agencés sous les ondulations de la première série d'ondulations (82), deux renforts d'onde (600) successifs dans une ondulation (82) comportant chacun une semelle (620) incluant une paroi inférieure (627) destinée à reposer sur la surface de support de la barrière d'isolation thermique primaire (60) et une portion de renfort creuse (610) disposée au-dessus de la semelle (620) dans une direction d'épaisseur de la paroi de cuve, les deux renforts d'onde (600) se développant longitudinalement dans l'ondulation (82) de part et d'autre d'un nœud (84), dans laquelle le panneau isolant (200) est selon l'une quelconque des revendications 13 à 14, et dans laquelle le câble de connexion (380) est connecté à un câble de transmission (911) s'étendant à travers au moins une portion de renfort creuse (610).
- [Revendication 17] Procédé d'assemblage pour assembler une cuve étanche et thermiquement isolante selon l'une quelconque des revendications 15 à 16, le procédé d'assemblage comprenant :
- fournir le panneau isolant (200) selon la revendication 1, un bloc inerte (400), par exemple en bois contreplaqué, étant reçu dans le volume de réception de telle sorte qu'une surface du bloc inerte (400) affleure avec la plaque de couvercle primaire (272) dudit panneau isolant (200) ;
 - juxtaposer, sur la paroi porteuse (2), une pluralité d'éléments thermiquement isolants, dans laquelle au moins l'un des éléments thermiquement isolants est ledit panneau isolant (200) ; et
 - retirer le bloc inerte (400) dudit panneau isolant (200), et disposer un instrument de mesure d'efforts (300) dans le volume de réception.
- [Revendication 18] Navire (1070) comportant une coque (1094) et une cuve (T) selon l'une quelconque des revendications 15 à 16 disposée dans la coque.
- [Revendication 19] Système de transfert pour un gaz liquéfié, le système comportant un navire (1070) selon la revendication 18, des canalisations isolées (79, 76, 81) agencées de manière à relier la cuve (T) installée dans la coque du navire à une installation de stockage flottante ou terrestre (77) et une pompe pour entraîner un flux de gaz liquéfié à travers les canalisations

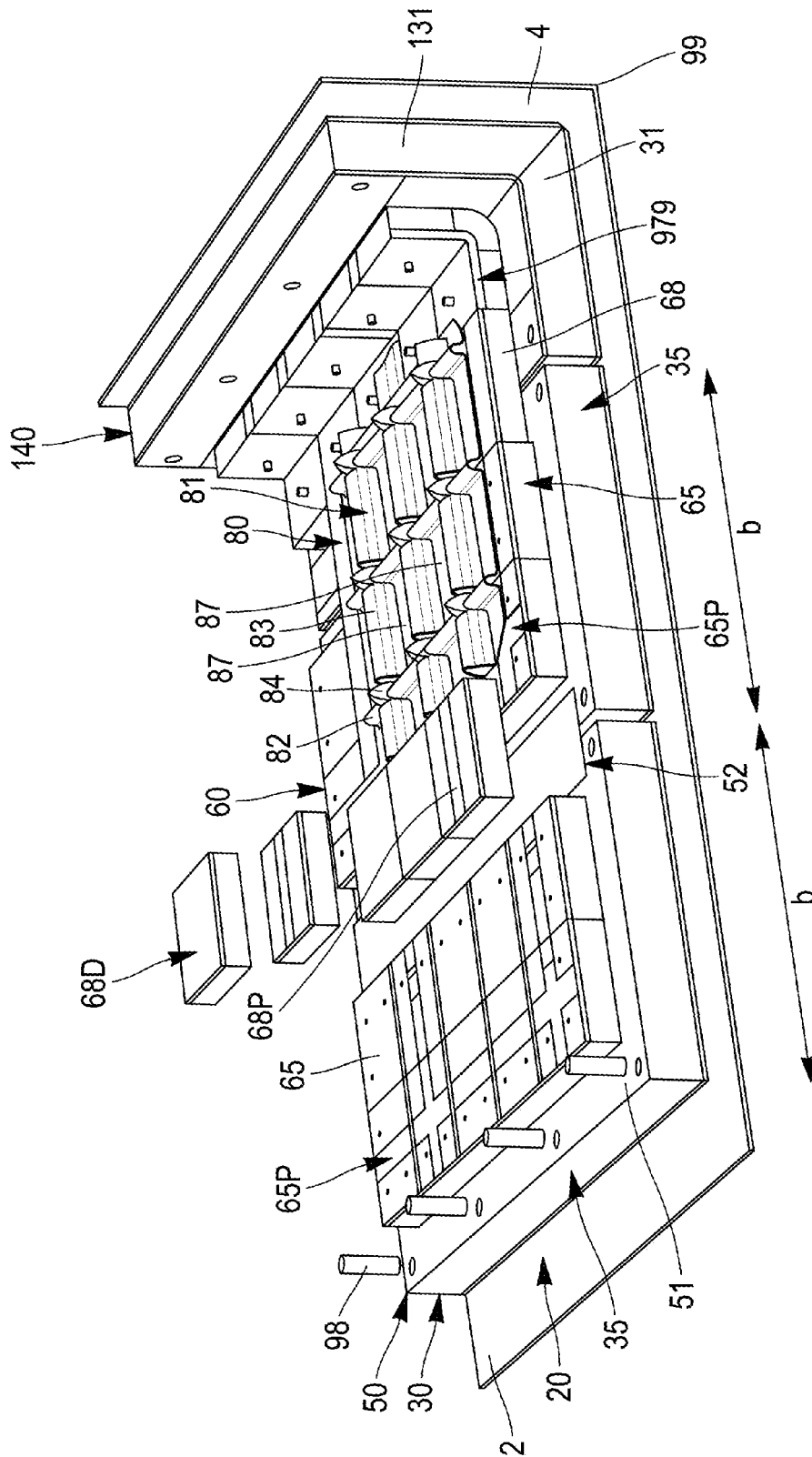
isolées depuis ou vers l'installation de stockage flottante ou terrestre vers ou depuis la cuve du navire.

[Revendication 20] Procédé de chargement ou déchargement d'un navire (1070) selon la revendication 18, dans lequel on achemine un gaz liquéfié à travers des canalisations isolées (79, 76, 81) depuis ou vers une installation de stockage flottante ou terrestre (77) vers ou depuis la cuve (T) du navire (1094).

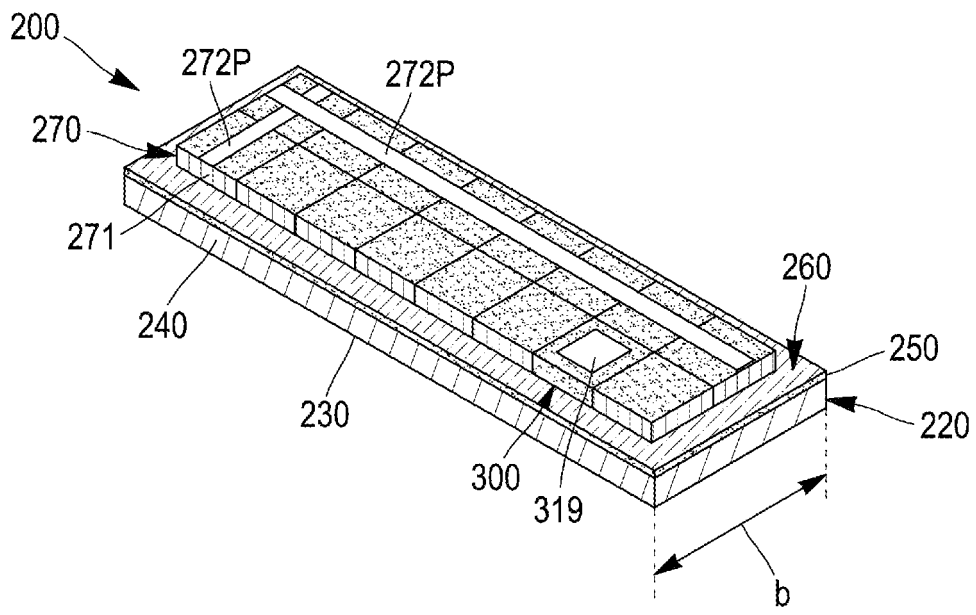
[Fig. 1]



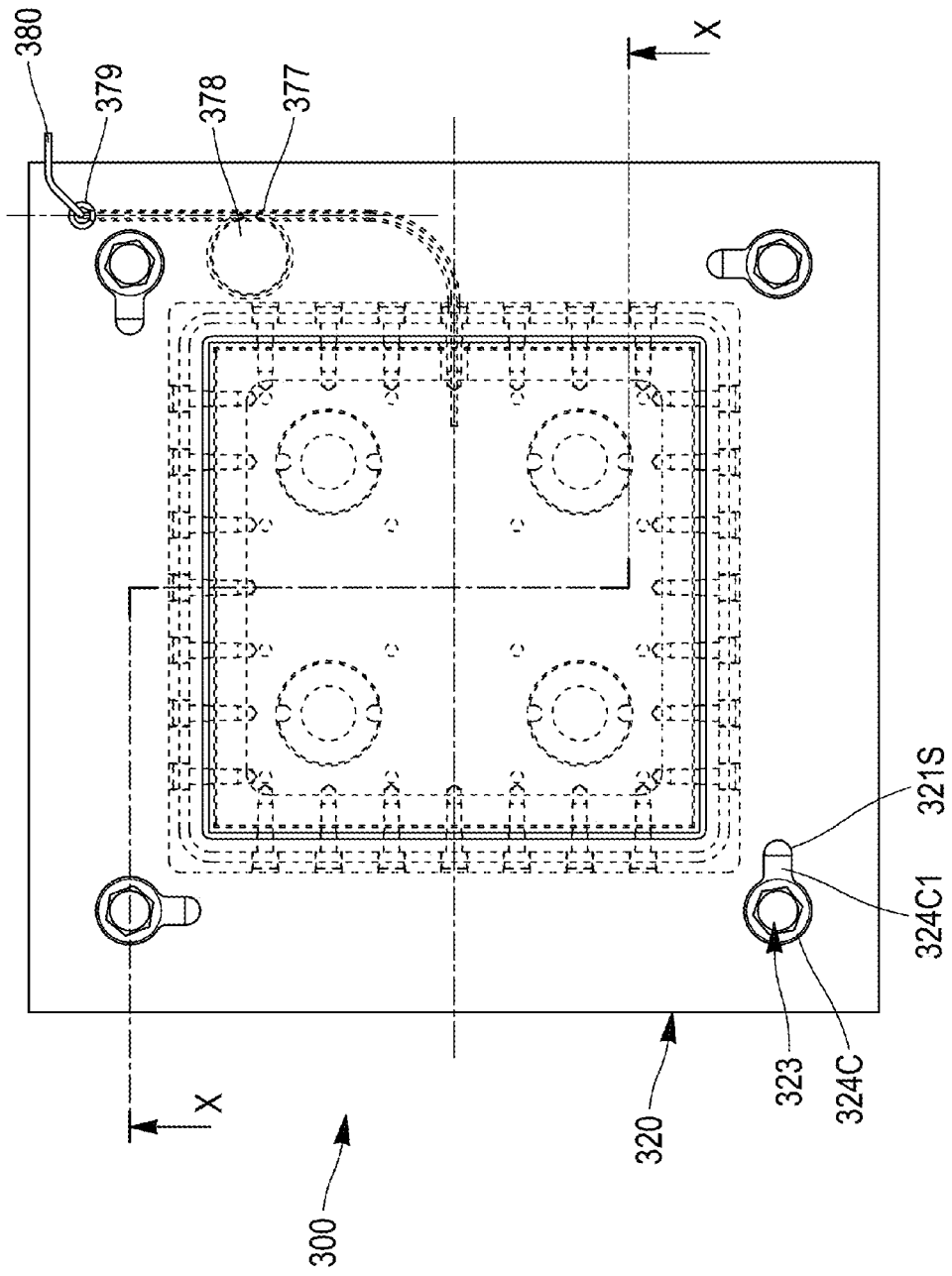
[Fig. 2A]



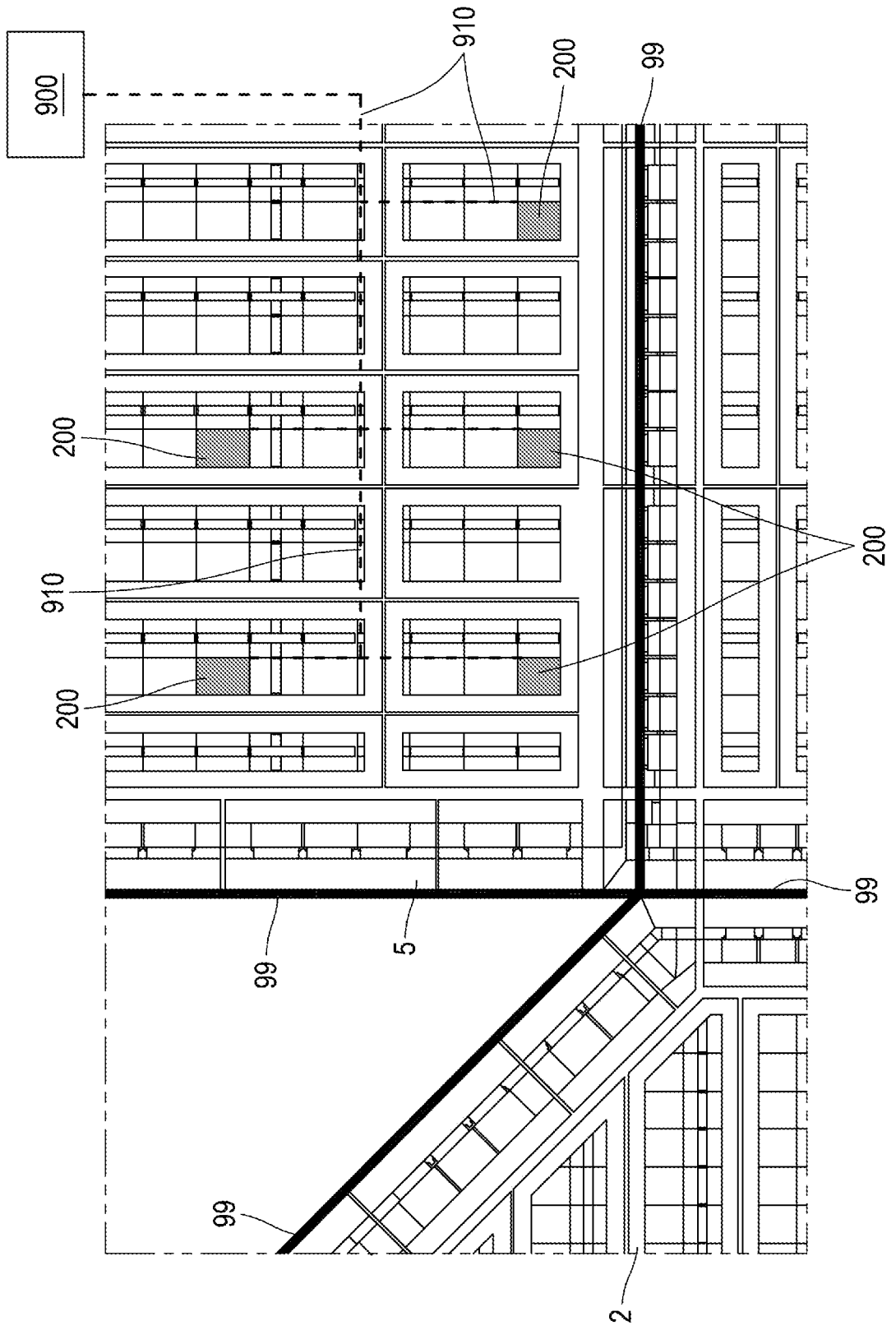
[Fig. 3]



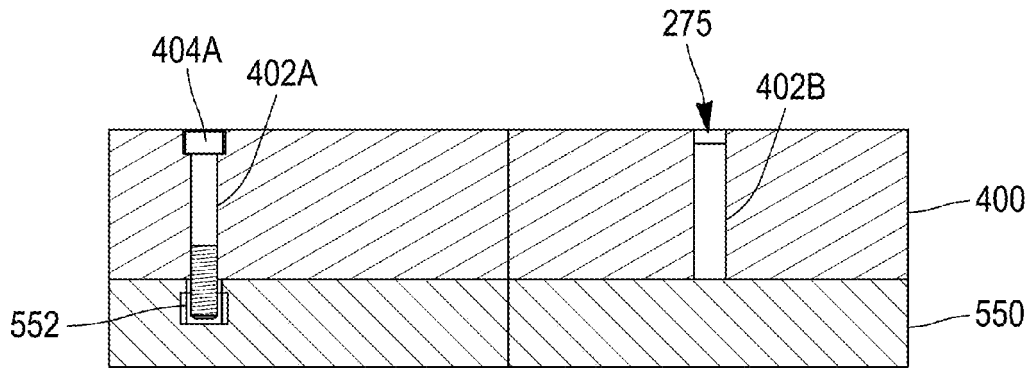
[Fig. 6B]



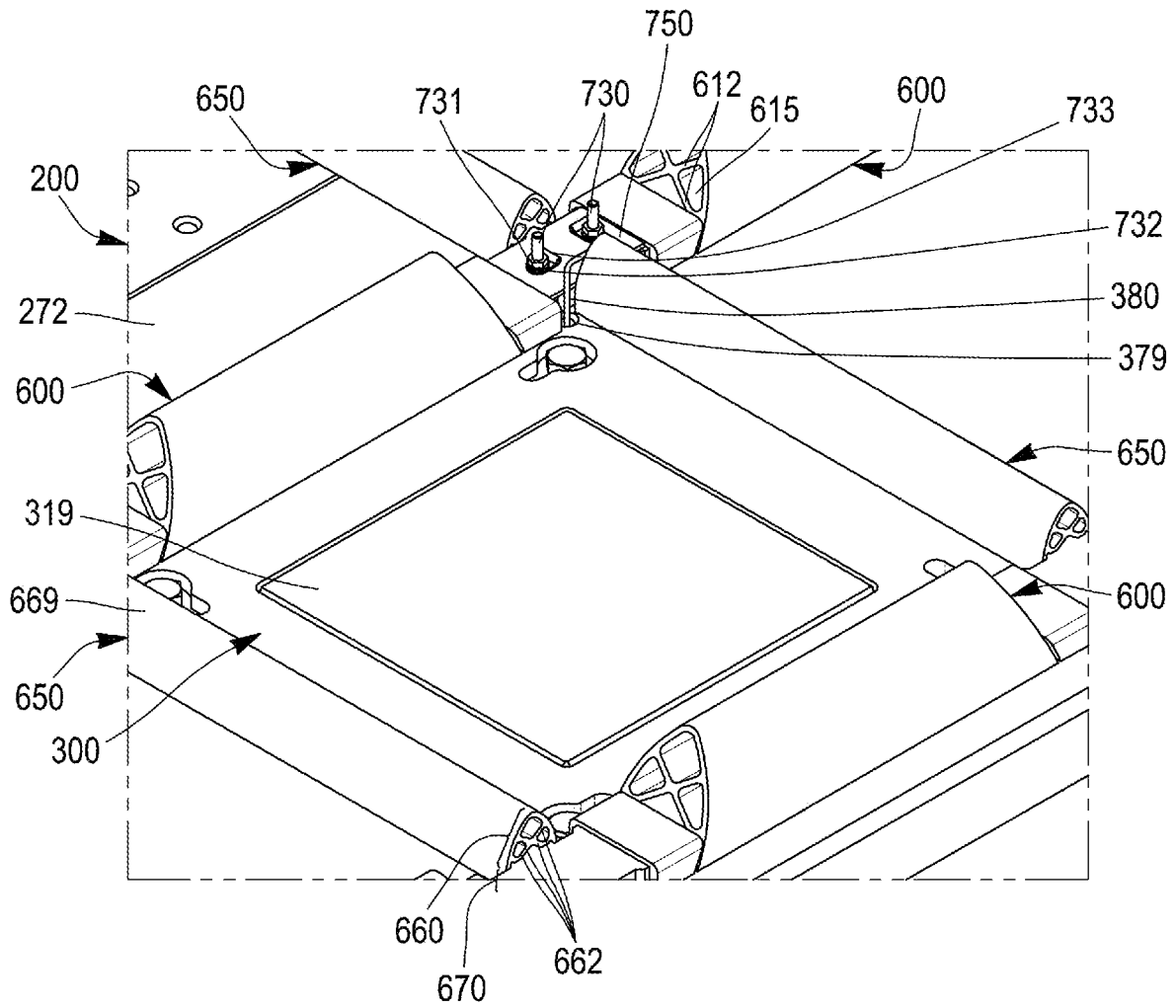
[Fig. 9]



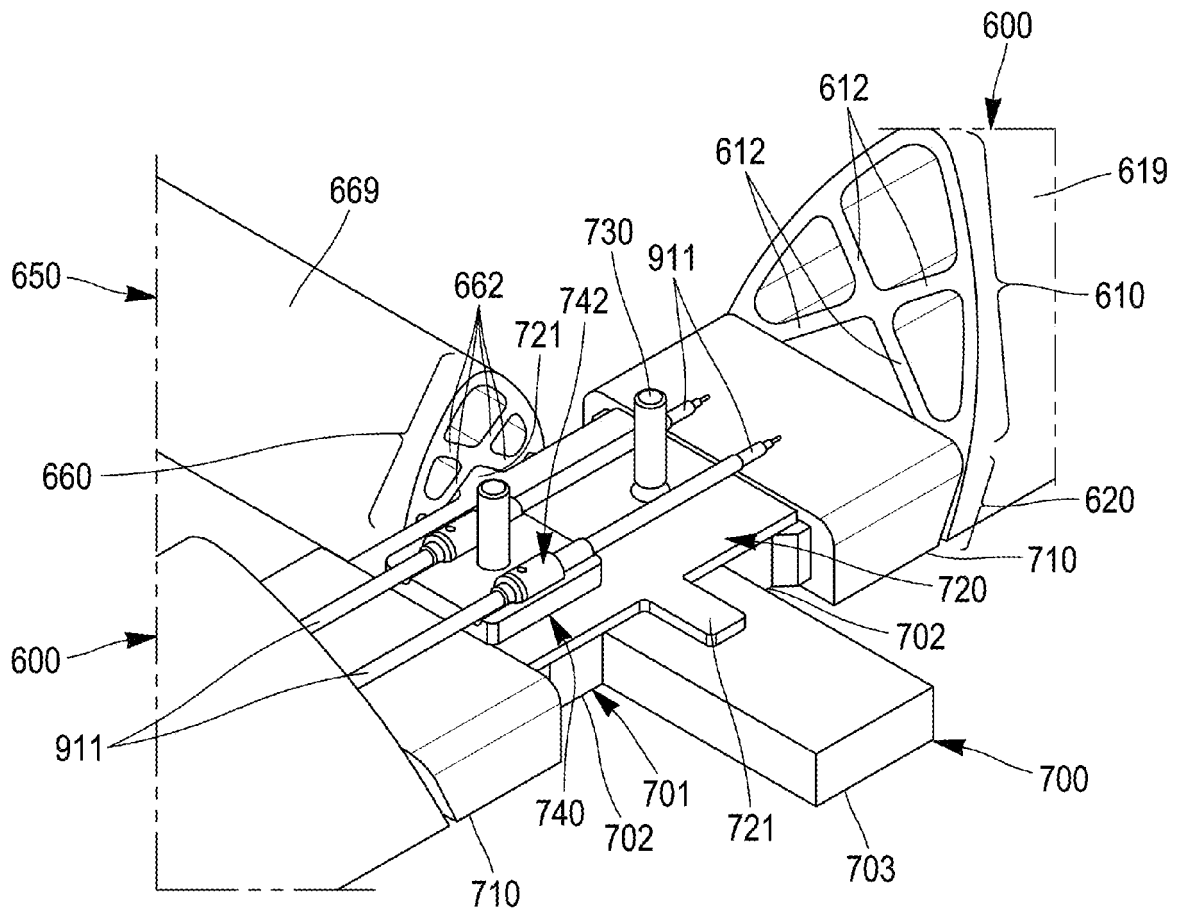
[Fig. 10]



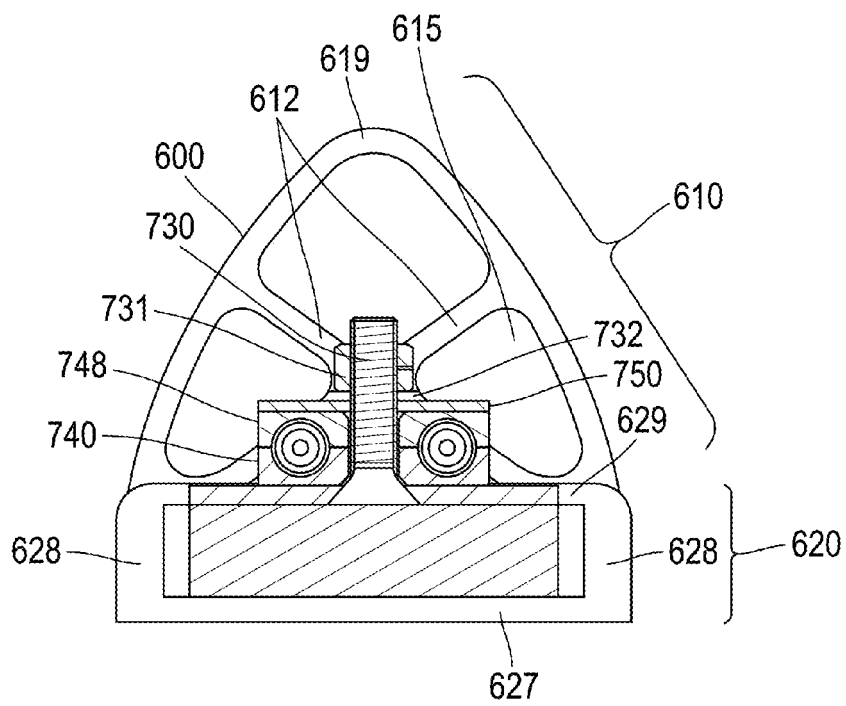
[Fig. 11]



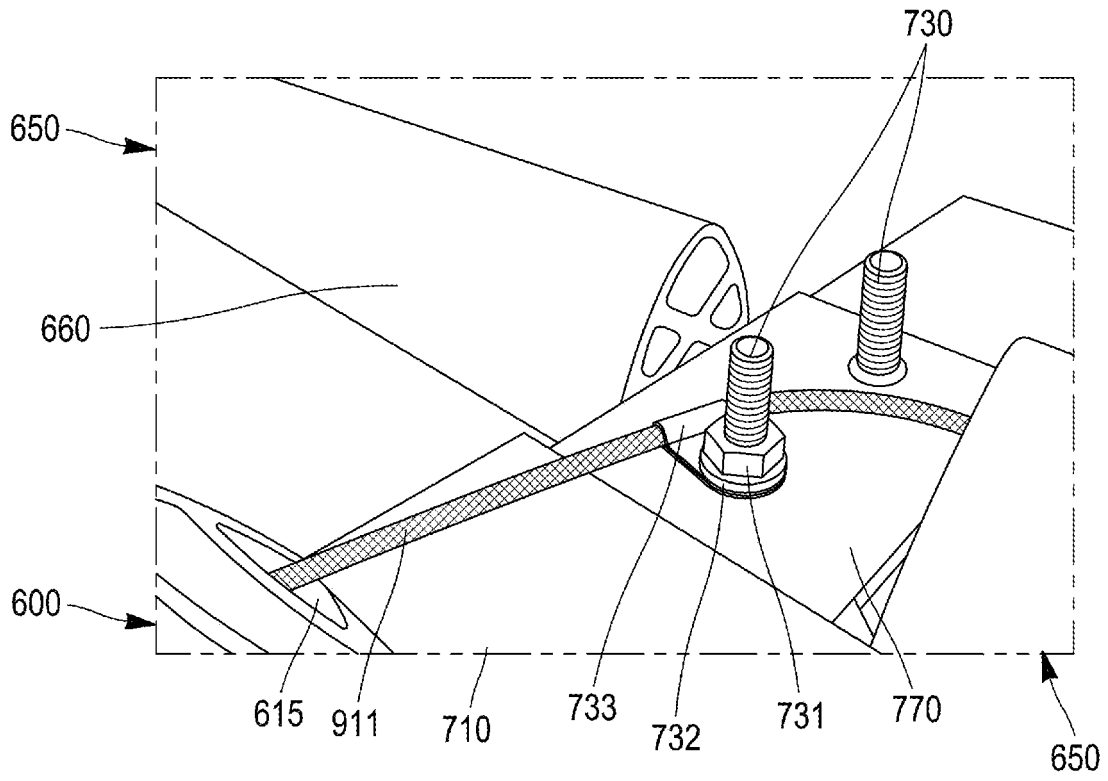
[Fig. 12]



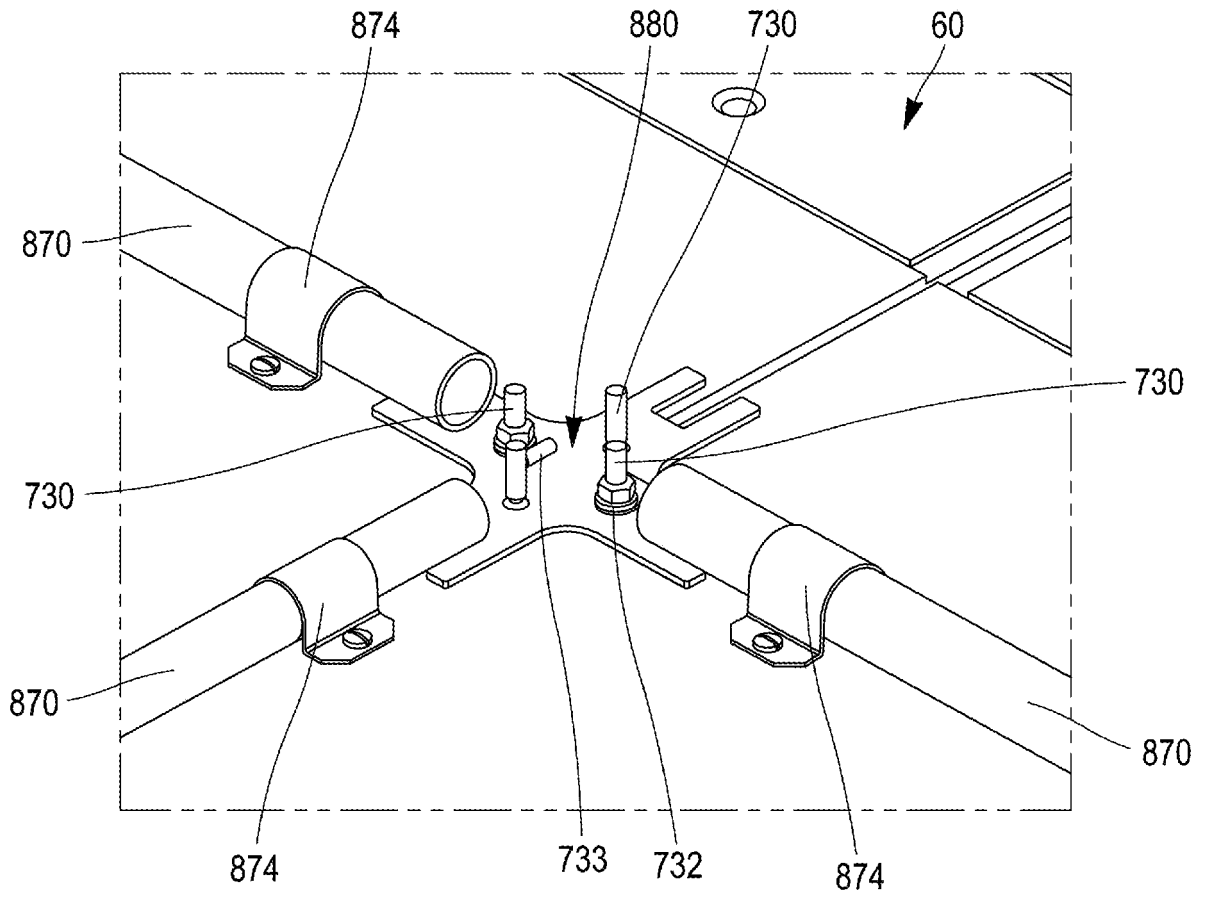
[Fig. 13]



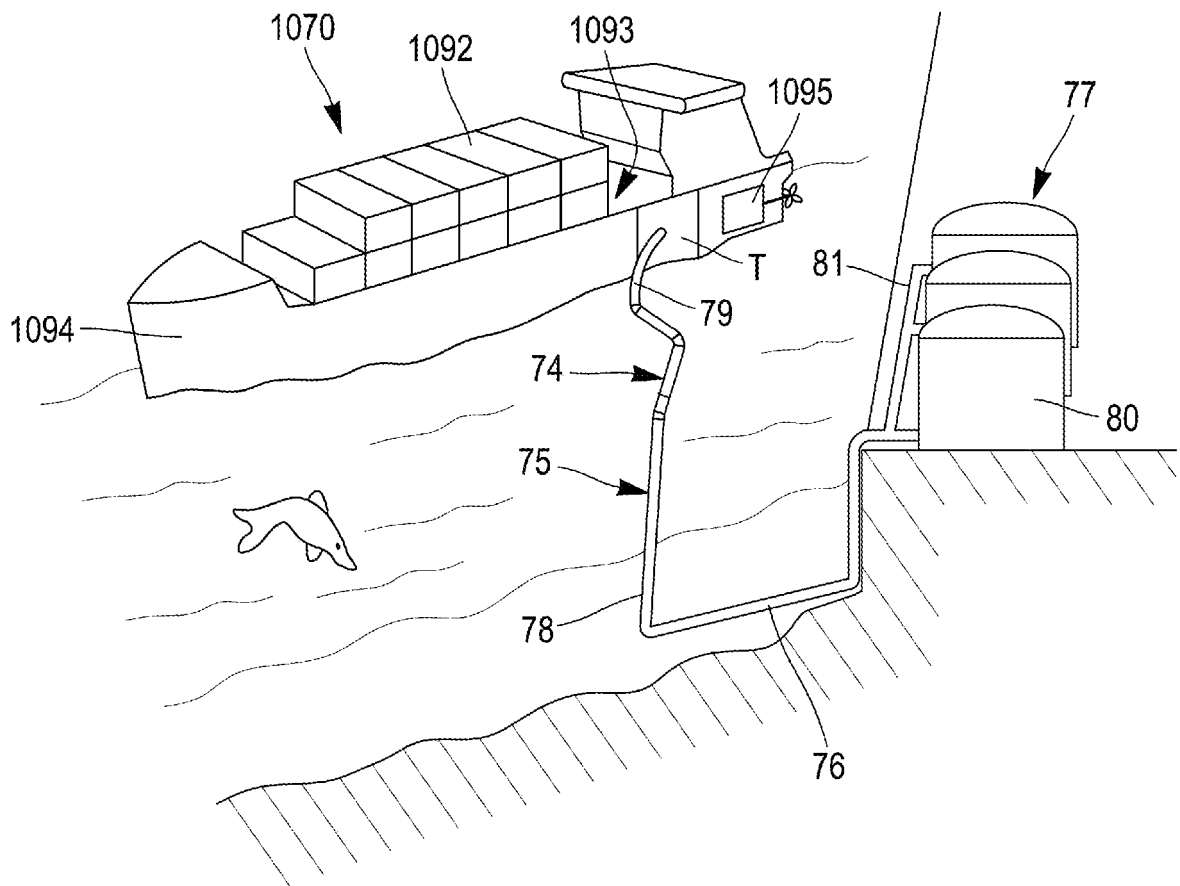
[Fig. 14]



[Fig. 15]



[Fig. 16]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

NEANT

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

FR 3 004 512 A1 (GAZTRANSP ET TECHNIGAZ
[FR]) 17 octobre 2014 (2014-10-17)

FR 2 781 556 A1 (GAZ TRANSPORT & TECHNIGAZ
[FR]) 28 janvier 2000 (2000-01-28)

KR 2013 0083631 A (SAMSUNG HEAVY IND [KR])
23 juillet 2013 (2013-07-23)

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT