

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

①① N° de publication : **3 141 983**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national : **22 11854**

⑤① Int Cl<sup>8</sup> : **F 17 C 3/06** (2023.01), B 65 D 90/02, B 63 B 25/16

①②

## BREVET D'INVENTION

**B1**

⑤④ Paroi pour une cuve étanche et thermiquement isolante.

②② Date de dépôt : 15.11.22.

③① Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public  
de la demande : 17.05.24 Bulletin 24/20.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention : 31.01.25 Bulletin 25/05.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche :

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥① 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) : SALMON LEGAGNEUR Guillaume,  
Deletré Bruno, de Combarieu Guillaume et Morel  
Benoît.

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

⑦④ Mandataire(s) : Cabinet LOYER & ABELLO.

FR 3 141 983 - B1



## Description

### **Titre de l'invention : Paroi pour une cuve étanche et thermiquement isolante**

#### **Domaine technique**

- [0001] L'invention se rapporte au domaine des parois de cuves étanches et thermiquement isolantes à membranes.
- [0002] En particulier, l'invention se rapporte au domaine des parois de cuves étanches et thermiquement isolantes pour le stockage, le transport et/ou l'utilisation en tant que carburant de gaz liquéfié à basse température, telles que des cuves destinées à comporter de l'hydrogène liquide qui est à environ  $-253^{\circ}\text{C}$  à pression atmosphérique. 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 l'utilisation du gaz liquéfié en tant que carburant pour la propulsion de l'ouvrage flottant.

#### **Arrière-plan technologique**

- [0003] Il est connu dans l'état de la technique des cuves étanches et thermiquement isolantes de stockage d'un gaz liquéfié, notamment les cuves dans lesquelles les parois présentent successivement, dans la direction d'épaisseur de la paroi, depuis l'extérieur vers l'intérieur, une structure porteuse, une barrière thermiquement isolante et une membrane d'étanchéité qui repose contre la barrière thermiquement isolante et qui est destinée à être en contact avec le gaz liquéfié.
- [0004] Dans ce type de cuve, la membrane d'étanchéité est soumise à de fortes sollicitations thermomécaniques, par exemple lors du chargement, du déchargement et durant le transport du gaz liquéfié contenu dans la cuve, par exemple en cas de ballotement lors d'un transport en mer, également appelé phénomène de « sloshing » qui génère des vagues de gaz liquéfié qui se brisent contre la membrane étanche depuis l'intérieur de la cuve. Ces sollicitations sont la cause de nombreux problèmes d'endommagement des parois de cuve.

#### **Résumé**

- [0005] La demanderesse a constaté que, dans une paroi de cuve du type précité, la membrane d'étanchéité n'est pas sollicitée de manière uniforme. En particulier, dans la mesure où la barrière thermiquement isolante est discontinue, c'est-à-dire qu'elle est constituée par exemple d'éléments calorifuges juxtaposés les uns aux autres et supportant chacun une pluralité de zones planes de la membrane d'étanchéité, son comportement n'est pas homogène lorsque la membrane d'étanchéité se déforme sous l'effet des sollicitations thermiques et mécaniques, indiquées précédemment. En outre, des pressions hydrodynamiques dues au phénomène de « sloshing » s'exercent lo-

calement dans certaines zones planes de la membrane d'étanchéité et ne sont reprises que par le ou les éléments calorifuges qui supportent lesdites zones planes. Or, il est important, d'assurer une répartition la plus uniforme possible des contraintes de la membrane d'étanchéité et la barrière thermiquement isolante, notamment en vue d'optimiser leur durée de vie. Cet inconvénient est d'autant plus critique que la température de stockage du gaz liquéfié est faible et qu'en conséquence les sollicitations thermiques s'exerçant sur la membrane d'étanchéité et la barrière thermiquement isolante sont importantes.

- [0006] Par ailleurs, les performances d'isolation thermique des cuves du type précité sont jusqu'à ce jour insuffisantes pour leur permettre le stockage d'un gaz liquéfié à très faible température, tel que l'hydrogène liquide, à moins d'augmenter très sensiblement l'épaisseur des barrières thermiquement isolantes, ce qui n'est pas souhaitable.
- [0007] Une idée à la base de l'invention est de résoudre les problèmes susmentionnés.
- [0008] Une idée à la base de l'invention est de proposer une paroi de cuve étanche et thermiquement isolante comprenant une structure modulaire permettant de répartir de manière plus homogène les efforts exercés sur la membrane étanche de la paroi de cuve.
- [0009] Selon un mode de réalisation, l'invention fournit une paroi pour une cuve étanche et thermiquement isolante de stockage d'un gaz liquéfié, la paroi comportant successivement, selon une direction d'épaisseur de la paroi, une barrière thermiquement isolante destinée à être ancrée, directement ou indirectement, à une structure porteuse et une membrane d'étanchéité qui repose contre la barrière thermiquement isolante, la barrière thermiquement isolante comporte :
- au moins un élément de support et
  - une structure modulaire située entre l'au moins un élément de support et la membrane d'étanchéité, la structure modulaire étant fixée contre l'au moins un élément de support, la membrane d'étanchéité reposant contre la structure modulaire et étant fixée à ladite structure modulaire, la structure modulaire comportant au moins une première plaque et une deuxième plaque, la membrane d'étanchéité comprend une première zone fixée à la première plaque et une deuxième zone fixée à la deuxième plaque, la première plaque étant liée à la deuxième plaque par une liaison qui présente un degré de liberté en translation selon une direction perpendiculaire à la direction d'épaisseur de la paroi afin d'autoriser une contraction de la membrane d'étanchéité et un degré de liaison selon la direction d'épaisseur de la paroi.
- [0010] Grâce à ces caractéristiques, la première plaque et la deuxième plaque de la structure modulaire sur lesquelles sont fixées la première zone et la deuxième zone de la membrane d'étanchéité peuvent effectuer des mouvements relatifs selon la direction perpendiculaire à la direction d'épaisseur de la paroi.

- [0011] Ceci permet notamment à la membrane d'étanchéité, et particulièrement lorsque celle-ci présente des ondulations, de se contracter lorsque la cuve est mise en froid et de se déployer lors du réchauffement de la cuve, par exemple lorsque la cuve est vidée. Plus précisément, lorsque la température chute dans la cuve, la matière composant la membrane d'étanchéité se contracte, et pour compenser les ondes de la membrane d'étanchéité se déploient. C'est à dire que les ondes sont davantage ouvertes à une température froide, par exemple lorsque la cuve est mise en froid qu'à une température plus chaude. Lorsqu'on réchauffe la cuve, par exemple lorsque la cuve est vidée, c'est l'inverse.
- [0012] En outre, les déformations de la structure modulaire selon la direction perpendiculaire à la direction d'épaisseur de la paroi, ne seront que peu reportées sur la membrane d'étanchéité.
- [0013] En outre, la liaison de la première plaque à la deuxième plaque selon la direction d'épaisseur de la paroi permet que les pressions dynamiques s'exerçant sur l'une des première et deuxième plaques soient également reprises par l'autre plaque, ce qui permet d'assurer une meilleure répartition des contraintes s'exerçant sur la paroi. Cette liaison permet également de supprimer ou pour le moins de limiter les dénivelés ou phénomènes de marche entre les surfaces de support de la membrane d'étanchéité, ce qui limite les sollicitations en fatigue de la membrane d'étanchéité.
- [0014] Selon des modes de réalisation, une telle paroi peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes.
- [0015] Selon un mode de réalisation, la liaison est formée par un contact direct entre une portion latérale de la première plaque et une portion latérale de la deuxième plaque. C'est-à-dire que la première plaque et la deuxième plaque se touchent sans pièce intermédiaire pour les relier.
- [0016] Selon un mode de réalisation, la portion latérale de la première plaque comporte au moins une première languette rectiligne et une languette externe respectivement situées de part et d'autre selon la direction d'épaisseur de la paroi d'une portion respective de la portion latérale de la deuxième plaque.
- [0017] Selon un mode de réalisation, la portion latérale de la première plaque comporte une deuxième languette rectiligne, la languette externe étant positionnée entre la première et la deuxième languettes rectilignes et la portion latérale de la deuxième plaque comporte une première languette externe, une deuxième languette externe et une languette rectiligne positionnée entre la première languette externe et la deuxième languette externe de la portion latérale de la deuxième plaque, la première et la deuxième languettes rectilignes de la portion latérale de la première plaque s'étendant de manière rectiligne et la première et la deuxième languettes externes de la portion latérale de la deuxième plaque étant décalées selon la direction d'épaisseur de la paroi

et positionnées respectivement à l'extérieur de la languette rectiligne de la portion latérale de la deuxième plaque, la languette rectiligne de la portion latérale de la deuxième plaque s'étendant de manière rectiligne et la languette externe de la portion latérale de la première plaque étant décalées selon la direction d'épaisseur de la paroi et positionnée à l'extérieur de la languette rectiligne de la portion latérale de la deuxième plaque.

- [0018] Grâce à ces caractéristiques, la première plaque est liée directement par contact à la deuxième plaque tout en autorisant un mouvement selon la direction perpendiculaire à la direction d'épaisseur de la paroi. Ledit mouvement selon la direction perpendiculaire à la direction d'épaisseur de la paroi est effectué sans pour autant que la liaison de la première plaque avec la deuxième plaque ne se rompt.
- [0019] Selon un mode de réalisation, la liaison par contact direct est un pincement de la portion latérale de la première plaque avec la portion latérale de la deuxième plaque. C'est-à-dire que la première plaque serre la deuxième plaque. Ce pincement permet notamment de maintenir le contact direct de la première plaque avec la deuxième plaque en présence de contrainte thermodynamique tout en permettant un mouvement de type glissière, en translation selon la direction perpendiculaire à la direction d'épaisseur de la paroi.
- [0020] Selon un mode de réalisation, la portion latérale de la première plaque coopère par emboîtement de forme avec la portion latérale de la deuxième plaque et forme une zone d'emboîtement.
- [0021] Selon un mode de réalisation, la zone d'emboîtement présente un passage traversant qui traverse, selon la direction perpendiculaire à la direction d'épaisseur de la paroi, la portion latérale de la première plaque et la portion latérale de la deuxième plaque, le passage traversant étant formé par au moins une ouverture ménagée dans la portion latérale de la première plaque correspondant avec au moins une ouverture ménagée dans la portion latérale de la deuxième plaque, une tige étant logée dans ledit passage traversant pour que la première plaque et la deuxième plaque présentent un degré de liaison selon la direction d'épaisseur de la paroi.
- [0022] Selon un mode de réalisation, la tige est rectiligne.
- [0023] Selon un mode de réalisation, la section selon la largeur de la tige présente une forme circulaire, carrée, rectangulaire ou oblongue.
- [0024] Selon un mode de réalisation, la tige est métallique ou en matériau composite rigide.
- [0025] Selon un mode de réalisation, la tige présente une longueur suffisante pour être logée dans l'au moins une ouverture ménagée dans la portion latérale de la première plaque et dans l'au moins une ouverture ménagée dans la portion latérale de la deuxième plaque.

- [0026] Selon un mode de réalisation, la tige présente une longueur égale ou supérieure à la longueur du passage traversant.
- [0027] Selon un mode de réalisation, la tige présente une hauteur choisie afin qu'il n'y ait pas de jeu selon la direction d'épaisseur de la paroi entre la tige et le passage traversant.
- [0028] Selon un mode de réalisation, la tige présente au niveau d'une extrémité une butée sous la forme d'une embase afin de maintenir la tige dans le passage traversant.
- [0029] Selon un mode de réalisation, le passage traversant est formé par une pluralité d'ouvertures de forme oblongue.
- [0030] Selon un mode de réalisation, la largeur du passage traversant est inférieure à la largeur de la tige afin de permettre une liberté en translation selon la direction perpendiculaire à la direction d'épaisseur de la paroi.
- [0031] Selon un mode de réalisation, la portion latérale de la première plaque comporte un tenon faisant saillie en direction de la deuxième plaque, ledit tenon étant réceptionné par une mortaise agencée dans la portion latérale de la deuxième plaque.
- [0032] Selon un mode de réalisation, la portion latérale de la première plaque comporte un deuxième tenon faisant saillie en direction de la deuxième plaque, ledit deuxième tenon étant réceptionné par une deuxième mortaise agencée dans la portion latérale de la deuxième plaque.
- [0033] Selon un mode de réalisation, la portion latérale de la première plaque comporte un troisième tenon faisant saillie en direction de la deuxième plaque, ledit troisième tenon étant réceptionné par une troisième mortaise agencée dans la portion latérale de la deuxième plaque.
- [0034] Selon un mode de réalisation, les premier, deuxième et troisième tenons présentent chacun des dimensions identiques ou différentes et correspondent respectivement aux première, deuxième et troisième mortaises qui présentent chacune des dimensions identiques ou différentes afin de réceptionner le tenon correspondant.
- [0035] Selon un mode de réalisation, la structure modulaire comprend une troisième plaque, une quatrième plaque et une cinquième plaque, la membrane d'étanchéité comprenant une troisième zone fixée à la troisième plaque, une quatrième zone fixée à la quatrième plaque et une cinquième zone fixée à la cinquième plaque, la première plaque étant liée aux troisième, quatrième et cinquième plaques par des liaisons qui présentent un degré de liberté en translation selon une direction perpendiculaire à la direction d'épaisseur de la paroi et un degré de liaison selon la direction d'épaisseur de la paroi.
- [0036] Selon un mode de réalisation, la première plaque est liée aux troisième, quatrième et cinquième plaques via respectivement une première portion latérale, une deuxième portion latérale, une troisième portion latérale et une quatrième portion latérale de ladite première plaque.

- [0037] Selon un mode de réalisation, la structure modulaire comprend une pluralité de plaques, par exemple seize plaques, dans laquelle chacune des plaques de la pluralité de plaques est au moins liée à une autre plaque, et préférentiellement chacune des plaques est liée à au moins deux autres plaques, par exemple à trois autres plaques ou quatre autres plaques.
- [0038] Grâce à ces caractéristiques, la structure modulaire accroît la répartition des différentes contraintes de manière homogène, sur le ou les éléments du support de la paroi. Ainsi, un endommagement local de la paroi est limité.
- [0039] Selon un mode de réalisation, la structure modulaire comprend une troisième plaque, une quatrième plaque et une cinquième plaque, la membrane d'étanchéité comprenant une troisième zone fixée à la troisième plaque, une quatrième zone fixée à la quatrième plaque et une cinquième zone fixée à la cinquième plaque, la première plaque étant liée aux deuxième, troisième, quatrième et cinquième plaques via respectivement une première portion latérale, une deuxième portion latérale, une troisième portion latérale et une quatrième portion latérale de ladite première plaque.
- [0040] Selon un mode de réalisation, la première plaque présente une forme générale d'un polygone, par exemple un quadrilatère et de préférence d'un carré ou d'un rectangle. Selon un mode de réalisation, chaque côté du polygone correspond respectivement à une portion latérale. Par exemple, pour une plaque présentant la forme d'un quadrilatère, il y a la première portion latérale, la deuxième portion latérale, la troisième portion latérale et la quatrième portion latérale de la première plaque.
- [0041] Selon des modes de réalisation, la première plaque présente les dimensions suivantes :
- une longueur comprise entre 20 et 300 centimètres (cm) ;
  - une largeur comprise entre 20 et 300 cm ;
  - une épaisseur comprise entre 4 et 30 millimètres (mm).
- [0042] Selon un mode de réalisation, la première plaque est une plaque métallique, comprenant préférentiellement un alliage de fer et de nickel. Selon un mode de réalisation, la première plaque est une plaque en matériau composite. Selon un mode de réalisation, la plaque en matériau composite comprend une platine métallique pour permettre le soudage de la membrane d'étanchéité sur ladite platine métallique.
- [0043] Selon des modes de réalisation, les caractéristiques définissant la première portion latérale de la première plaque peuvent s'appliquer également aux autres portions latérales de la première plaque, telle que la deuxième portion latérale, la troisième portion latérale et la quatrième portion latérale.
- [0044] Selon des modes de réalisation, les caractéristiques définissant la portion latérale de la deuxième plaque peuvent s'appliquer également aux autres portions latérales de la deuxième plaque.

- [0045] Selon un mode de réalisation, la première plaque présente un axe de symétrie. Selon un mode de réalisation, la première portion latérale et la quatrième portion latérale présentent respectivement un axe de symétrie avec la deuxième portion latérale et la troisième portion latérale. Selon un mode de réalisation, l'axe de symétrie passe par une diagonale de la première plaque.
- [0046] Selon un mode de réalisation, la première portion latérale, la deuxième portion latérale, la troisième portion latérale et la quatrième portion latérale de la première plaque présentent chacune des caractéristiques identiques ou différentes.
- [0047] Selon un mode de réalisation, la première plaque est fixée contre l'au moins un élément de support via une première fixation située au centre de la première plaque, et la deuxième plaque est fixée contre l'au moins un élément de support via une deuxième fixation située au centre de la deuxième plaque. La fixation centrale permet d'assurer un meilleur équilibrage de la fixation.
- [0048] Selon un mode de réalisation, la première fixation et la deuxième fixation est un système vis écrou ou un rivetage.
- [0049] Selon des modes de réalisation, les caractéristiques précitées pour la première plaque s'appliquent également aux autres plaques de la structure modulaire, par exemple à la deuxième plaque, la troisième plaque, la quatrième plaque et/ou la cinquième plaque.
- [0050] Selon des modes de réalisation, les caractéristiques précitées pour la deuxième plaque s'appliquent également aux autres plaques de la structure modulaire, par exemple à la première plaque, la troisième plaque, la quatrième plaque et/ou la cinquième plaque.
- [0051] Selon un mode de réalisation, le au moins un élément de support est un panneau thermiquement isolant comportant une couche de mousse isolante autoporteuse prise en sandwich entre une plaque rigide interne et une plaque rigide externe, préférentiellement la couche de mousse isolante est une mousse polymère.
- [0052] Selon un mode de réalisation, la structure modulaire est fixée à la plaque rigide interne.
- [0053] Selon un mode de réalisation, la plaque rigide interne est équipée de platines métalliques destinées à l'ancrage de la structure modulaire.
- [0054] Selon un mode de réalisation, le au moins un élément de support est un caisson isolant comportant une plaque de fond, une plaque de couvercle et des voiles porteurs s'étendant, dans la direction d'épaisseur de la paroi entre la plaque de fond et la plaque de couvercle et délimitant au moins un compartiment rempli d'une garniture thermiquement isolante. Un tel caisson isolant est par exemple décrit dans le document WO2012127141.
- [0055] Selon un mode de réalisation, la garniture thermiquement isolante est choisie parmi : de la perlite, de la laine de verre et de la laine de roche.

- [0056] Selon un mode de réalisation, le au moins un élément de support comprend une couche de matériau souple en contact avec la structure modulaire.
- [0057] Selon un mode de réalisation, le matériau souple présente un module d'Young en compression selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve compris entre 0.25 et 25 MPa, par exemple en feutre.
- [0058] Selon un mode de réalisation, le matériau souple présente un module d'Young en compression inférieure au module d'Young de la couche de mousse isolante auto-porteuse du panneau thermiquement isolant. C'est-à-dire que le matériau souple est plus souple que ladite couche de mousse isolante autoporteuse du panneau thermiquement isolant.
- [0059] Selon un mode de réalisation, le rapport entre le module d'Young en compression du matériau souple et le module d'Young en compression de ladite couche de mousse isolante autoporteuse du panneau thermiquement isolant est inférieure ou égale à  $1/5$ , préférentiellement comprise en  $1/5$  et  $1/20$ .
- [0060] Selon un mode de réalisation, le matériau souple présente un module d'Young en compression inférieure au module d'Young du matériau, tel que du bois contreplaqué, dans lequel est réalisé au moins un parmi la plaque de fond, la plaque de couvercle et les voiles porteurs du caisson isolant.
- [0061] Selon un mode de réalisation, le rapport entre le module d'Young en compression du matériau souple et le module d'Young en compression dudit matériau dans lequel est réalisé au moins un parmi la plaque de fond, la plaque de couvercle et les voiles porteurs est inférieure ou égale à  $1/5$ , préférentiellement comprise en  $1/5$  et  $1/20$ .
- [0062] Selon un mode de réalisation, la couche de matériau souple s'étend dans la direction perpendiculaire à la direction d'épaisseur de la paroi.
- [0063] Selon un mode de réalisation, la barrière thermiquement isolante comprend un premier élément de support et un deuxième élément de support, le premier élément de support étant un premier pilier et le deuxième élément de support étant un deuxième pilier, le premier pilier et le deuxième pilier s'étendant selon la direction d'épaisseur de la paroi, le premier pilier étant fixé à la première plaque et le deuxième pilier étant fixé à la deuxième plaque.
- [0064] Selon un mode de réalisation, la structure modulaire comprend :
- un premier manchon fixé entre une extrémité interne du premier pilier et la première plaque,
  - un deuxième manchon fixé entre une extrémité interne du deuxième pilier et la deuxième plaque, et
  - une poutrelle métallique reliant le premier manchon et le deuxième manchon par une jonction glissante selon la direction perpendiculaire à la direction d'épaisseur de la paroi.

- [0065] Selon un mode de réalisation, la poutrelle métallique présente une forme rectiligne. Selon un mode de réalisation, la poutrelle métallique présente la forme d'un parallépipède rectangle.
- [0066] Selon un mode de réalisation, le manchon présente une forme cylindrique ou cubique.
- [0067] Selon un mode de réalisation, le manchon présente une encoche traversante, préférentiellement en forme de croix.
- [0068] Selon un mode de réalisation, la barrière thermiquement isolante comprend un troisième élément de support, le troisième élément de support étant un troisième pilier s'étendant selon la direction d'épaisseur de la paroi, dans laquelle le premier pilier, le deuxième pilier et le troisième pilier sont alignés.
- [0069] Selon un mode de réalisation, la structure modulaire comprend une troisième plaque et un troisième manchon fixé entre une extrémité interne du troisième pilier et la troisième plaque, la membrane d'étanchéité comprenant une troisième zone fixée à la troisième plaque,  
dans laquelle, la poutrelle métallique relie le troisième manchon.
- [0070] Selon un mode de réalisation, chaque manchon est fixé par emboîtement à l'intérieur de l'extrémité interne du pilier. Selon une variante de réalisation, chaque manchon est fixé par emboîtement à l'extérieur de l'extrémité interne du pilier. L'extrémité interne du pilier est l'extrémité du pilier étant la plus proche de la membrane étanche destinée à être en contact avec le gaz liquéfié contenu dans la cuve.
- [0071] Selon un mode de réalisation, le premier manchon et le deuxième manchon comportent une ouverture traversante dans la direction perpendiculaire à la direction d'épaisseur de la paroi afin de réceptionner la poutrelle métallique.
- [0072] Selon un mode de réalisation, le troisième manchon comporte une ouverture traversante dans la direction perpendiculaire à la direction d'épaisseur de la paroi afin de réceptionner la poutrelle métallique.
- [0073] Selon un mode de réalisation, chaque pilier est réalisé dans un matériau composite comportant des fibres et une matrice, ce qui permet d'obtenir une résistance à la compression satisfaisante pour une section conductrice limitée.
- [0074] Selon un mode de réalisation, les fibres sont choisies parmi les fibres de verre, les fibres de carbone, les fibres aramides, les fibres de lin, les fibres de basalte et les mélanges de celles-ci.
- [0075] Selon un mode de réalisation, la matrice est choisie parmi le polyéthylène, le polypropylène, le poly(téréphtalate d'éthylène), le polyamide, le polyoxyméthylène, le polyetherimide, le polyacrylate, le polyarylethercétone, le polyetherethercétone, des copolymères de ceux-ci, le polyester, le vinylester, l'époxy et le polyuréthane.
- [0076] Selon un mode de réalisation préféré, les piliers sont réalisés dans une résine époxy

renforcée par des fibres de verre.

[0077] Selon un mode de réalisation, chaque pilier présente une section tubulaire.

[0078] Selon un mode de réalisation, chaque pilier présente un ou plusieurs orifices traversants et débouchant dans un espace interne dudit pilier.

[0079] Selon un mode de réalisation, chaque pilier présente un espace interne qui est garni avec une garniture isolante en matériau poreux à cellules ouvertes, par exemple choisie parmi une mousse polymère isolante à cellules ouvertes, telle que de la mousse polyuréthane à cellules ouvertes, la laine de verre, la laine de roche, la mousse de mélamine, l'ouate de polyester, les aérogels de polymère, tels que l'aérogel à base de polyuréthane, notamment commercialisé sous la marque Slentite<sup>®</sup>, et les aérogels de silice.

[0080] Selon un mode de réalisation, la membrane d'étanchéité est une membrane d'étanchéité ondulée comprenant une première série d'ondulations présentant des premières ondulations parallèles les unes aux autres et une deuxième séries d'ondulations présentant des deuxièmes ondulations parallèles les unes aux autres et perpendiculaires aux premières ondulations, la membrane d'étanchéité comportant une pluralité de zones planes qui sont chacune définies entre deux premières ondulations adjacentes et entre deux deuxièmes ondulations adjacentes, dans laquelle la première zone et la deuxième zone correspondent à deux zones planes adjacentes.

[0081] Grâce à ces caractéristiques les contraintes subies par la membrane d'étanchéité ondulée sont uniformément réparties entre les ondulations de celle-ci.

[0082] Selon un mode de réalisation, la barrière thermiquement isolante primaire comporte au moins une première rangée de piliers comportant successivement, selon une direction parallèle aux premières ondulations, au moins le premier, le deuxième et le troisième piliers qui sont fixés à la barrière thermiquement isolante secondaire et qui s'élèvent selon la direction d'épaisseur de la paroi, le premier, le deuxième et le troisième piliers étant respectivement fixés à la première, la deuxième et la troisième plaques, dans laquelle le premier, le deuxième et le troisième piliers sont respectivement situés au niveau d'une zone plane.

[0083] Ces caractéristiques permettent une bonne répartition des contraintes entre les ondulations de la membrane d'étanchéité.

[0084] Selon un mode de réalisation, la barrière thermiquement isolante primaire comporte au moins une deuxième rangée de piliers comportant un quatrième, un cinquième et un sixième piliers qui sont fixés à la barrière thermiquement isolante secondaire et qui s'élèvent selon la direction d'épaisseur de la paroi, le quatrième, le cinquième et le sixième piliers étant alignés selon une direction parallèle aux deuxièmes ondulations et étant respectivement fixés à une quatrième, une cinquième et une sixième plaques,

dans lequel le quatrième, le cinquième et le sixième piliers sont respectivement situés au niveau d'une zone plane.

- [0085] Ainsi, la barrière thermiquement isolante primaire comporte à la fois des éléments de support qui sont alignés parallèlement aux premières ondulations de la membrane d'étanchéité primaire et des éléments de support qui sont alignés parallèlement aux deuxièmes ondulations de la membrane d'étanchéité primaire.
- [0086] Selon un mode de réalisation, la membrane d'étanchéité est fixée à la structure modulaire par soudure.
- [0087] Selon un mode de réalisation, la barrière thermiquement isolante est une barrière thermiquement isolante primaire et la membrane d'étanchéité est une membrane d'étanchéité primaire qui est destinée à être en contact avec le gaz liquéfié contenu dans la cuve, la paroi comportant une barrière thermiquement isolante secondaire destinée à reposer contre la structure porteuse, une membrane d'étanchéité secondaire qui repose contre la barrière thermiquement isolante secondaire, la barrière thermiquement isolante primaire reposant contre la membrane d'étanchéité secondaire et la membrane d'étanchéité primaire reposant contre la barrière thermiquement isolante primaire.
- [0088] Selon un mode de réalisation, la barrière thermiquement isolante secondaire repose contre la structure porteuse.
- [0089] Selon un autre mode de réalisation, la première série d'ondulations et la deuxième série d'ondulations de la membrane d'étanchéité secondaire font saillies vers l'intérieur, en direction opposée à la structure porteuse.
- [0090] Selon un mode de réalisation, la barrière thermiquement isolante primaire présente une phase gazeuse placée en dépression par rapport à la pression atmosphérique.
- [0091] Grâce à ces caractéristiques, les propriétés d'isolation thermique de la barrière thermiquement isolante primaire sont augmentées.
- [0092] Selon un mode de réalisation, la phase gazeuse est placée à une pression absolue inférieure à 1 Pa, avantageusement inférieure à  $10^{-1}$  Pa, de préférence inférieure à  $10^{-2}$  Pa et par exemple de l'ordre de  $10^{-3}$  Pa. Ceci permet d'augmenter les performances d'isolation thermique de la barrière thermiquement isolante primaire.
- [0093] Selon un mode de réalisation, la membrane d'étanchéité primaire comporte une pluralité de tôles métalliques ondulées, chaque tôle métallique ondulée présentant des bords qui sont chacun soudés par recouvrement à un bord d'une tôle métallique ondulée adjacente.
- [0094] Selon un mode de réalisation, la barrière thermiquement isolante secondaire comporte des panneaux isolants ancrés à la structure porteuse. Selon un mode de réalisation, les panneaux isolants sont fabriqués à partir de : laine de verre, laine de roche, ouate de polyester, mousses polymères à cellules ouvertes, telles que la mousse poly-

uréthane à cellules ouvertes ou les mousses de mélamine.

- [0095] Selon un mode de réalisation, chaque panneau isolant comporte une couche de mousse polymère isolante prise en sandwich entre une plaque interne et une plaque externe, par exemple en bois contreplaqué ou réalisées dans une matrice polymère renforcée par des fibres, tels que des fibres de verre.
- [0096] Selon un mode de réalisation, la plaque interne des panneaux isolants est équipée de platines métalliques destinées à l'ancrage de la structure modulaire sur les panneaux isolants et/ou à l'ancrage de la membrane étanche sur les panneaux isolants.
- [0097] Selon un mode de réalisation, la plaque interne des panneaux isolants est équipée de platines métalliques destinées à l'ancrage des bords des tôles métalliques ondulées de la membrane d'étanchéité secondaire sur les panneaux isolants.
- [0098] Selon un mode de réalisation, le gaz liquéfié est de l'hydrogène.
- [0099] L'invention fournit également une cuve étanche et thermiquement isolante comportant une pluralité de parois précitées.
- [0100] Selon un mode de réalisation, la cuve étanche et thermiquement isolante contient de l'hydrogène liquéfié.
- [0101] La cuve peut être réalisée selon différentes techniques, notamment sous la forme d'une cuve intégrée à membranes. Par exemple, la cuve est une cuve polyédrique.
- [0102] Une telle cuve peut faire partie d'une installation de stockage terrestre ou être installée dans une structure flottante, côtière ou en eau profonde, notamment un navire de transport d'hydrogène liquide, c'est-à-dire un hydrogénier, 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.
- [0103] Selon un mode de réalisation, un navire pour le transport d'un gaz liquéfié comporte une double coque et une cuve précitée disposée dans la double coque.
- [0104] 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 étanche et thermiquement isolante installée dans la coque du navire à une installation de stockage flottante ou terrestre 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 étanche et thermiquement isolante du navire.
- [0105] 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 étanche et thermiquement isolante du navire.

## **Brève description des figures**

- [0106] 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.
- [0107] [Fig.1] La [Fig.1] est une vue en perspective écorchée et schématique d'une structure porteuse destinée à supporter une cuve étanche et thermiquement isolante de stockage d'un gaz liquéfié.
- [0108] [Fig.2] La [Fig.2] est une vue partielle en perspective d'une paroi d'une cuve étanche et thermiquement isolante selon un premier mode de réalisation.
- [0109] [Fig.3] La [Fig.3] est une vue en coupe, agrandie de la zone III de la [Fig.2].
- [0110] [Fig.4] La [Fig.4] est une vue en perspective d'une plaque d'une structure modulaire selon un mode de réalisation.
- [0111] [Fig.5] La [Fig.5] est une vue en perspective d'une structure modulaire formée par quatre plaques liées entre elles selon le mode de réalisation de la [Fig.4].
- [0112] [Fig.6] La [Fig.6] est une vue en perspective d'une paroi selon un autre mode de réalisation, comprenant une structure modulaire.
- [0113] [Fig.7] La [Fig.7] est une vue en perspective d'une structure modulaire selon un autre mode de réalisation.
- [0114] [Fig.8] La [Fig.8] est une vue en perspective d'une plaque de la structure modulaire de la [Fig.7].
- [0115] [Fig.9] La [Fig.9] est une vue en perspective d'une liaison d'une première plaque avec une deuxième plaque, de la structure modulaire de la [Fig.7].
- [0116] [Fig.10] La [Fig.10] est une vue schématique, partielle et en perspective d'une paroi comprenant une structure modulaire selon un autre mode de réalisation.
- [0117] [Fig.11] La [Fig.11] est une vue schématique, partielle et en perspective d'une paroi comprenant une structure modulaire selon un autre mode de réalisation.
- [0118] [Fig.12] La [Fig.12] est une représentation schématique écorchée d'une cuve de navire pour le transport d'un gaz liquéfié et d'un terminal de chargement/déchargement de cette cuve.
- [0119] [Fig.13] La [Fig.13] est une vue en perspective partiellement éclatée d'une structure modulaire selon un autre mode de réalisation.
- [0120] [Fig.14] La [Fig.14] est une vue agrandie, en perspective de la structure modulaire de la [Fig.13]

## **Description des modes de réalisation**

- [0121] Par convention, les termes « externe » et « interne » sont utilisés pour définir la position relative d'un élément par rapport à un autre, par référence à l'intérieur et à

l'extérieur de la cuve.

- [0122] Le gaz liquéfié destiné à être stocké dans la cuve peut notamment être de l'hydrogène liquide qui présente la particularité d'être stocké à environ  $-253^{\circ}\text{C}$  à pression atmosphérique. Néanmoins, on peut noter que l'invention s'applique à tout autre gaz liquéfié, par exemple du gaz naturel liquéfié.
- [0123] En relation avec la [Fig.1], on observe une cuve 1 destinée à recevoir un gaz liquéfié.
- [0124] La cuve 1 comprend une structure porteuse formée par la coque interne (non représentée) d'un navire à double coque (non représenté). La cuve 1 présente une forme générale polyédrique ou prismatique. La cuve 1 présente une première paroi transversale 2 et une deuxième paroi transversale 3, ici de forme octogonale. Sur la [Fig.1], la première paroi transversale 2 n'est représentée que partiellement afin de permettre la visualisation de l'espace interne de la cuve 1. La cuve 1 comporte également une paroi de plafond 4, une paroi de fond 5, des parois de chanfrein inférieures 6, des parois latérales 7 et des parois de chanfrein supérieures 8. La paroi de plafond 4, la paroi de fond 5, les parois de chanfrein inférieures 6, les parois latérales 7, et les parois de chanfrein supérieures 8 s'étendent selon la direction longitudinale du navire, relient les première et deuxième parois transversales 2, 3 au niveau d'arêtes transversales 9, et se rejoignent au niveau d'arêtes longitudinales 10.
- [0125] Chaque paroi de la cuve présente successivement, selon une direction d'épaisseur de la paroi, une barrière thermiquement isolante destinée à reposer contre une structure porteuse et une membrane d'étanchéité qui repose contre la barrière thermiquement isolante.
- [0126] D'une manière générale, chaque paroi de la cuve présente une structure multicouche comportant, depuis l'extérieur vers l'intérieur de la cuve, une barrière thermiquement isolante secondaire comportant une pluralité de panneaux isolants secondaires, destinée à être ancrée, directement ou indirectement, à une structure porteuse, une membrane étanche secondaire reposant contre la barrière thermiquement isolante secondaire, une barrière thermiquement isolante primaire comportant une pluralité de panneaux isolants primaires ou une pluralité de piliers primaires, reposant contre la membrane étanche secondaire et une membrane étanche primaire destinée à être en contact avec le gaz liquéfié contenu dans la cuve. La membrane étanche primaire définit un espace interne destiné à recevoir le gaz liquéfié, tel que de l'hydrogène.
- [0127] En relation avec les figures 2 à 11, on décrira ci-dessous plus particulièrement des parois pour une cuve étanche et thermiquement isolante de stockage d'un gaz liquéfié selon des modes de réalisation.
- [0128] La paroi 11 pour une cuve étanche et thermiquement isolante de stockage d'un gaz liquéfié présente une structure multicouche comportant, selon la direction d'épaisseur de la paroi 11, depuis l'extérieur vers l'intérieur, une barrière thermiquement isolante

secondaire 12 destinée à reposer contre une structure porteuse 23, une membrane d'étanchéité secondaire 13, une barrière thermiquement isolante primaire 14 et une membrane d'étanchéité primaire 15 destinée à être en contact avec le gaz liquéfié contenu dans la cuve.

- [0129] La barrière thermiquement isolante secondaire 12 comporte une pluralité de panneaux isolants 16 ancrés à la structure porteuse 23. Les panneaux isolants 16 comportent chacun une couche de mousse polymère isolante 17 prise en sandwich entre une plaque interne 18 et une plaque externe 19. Les plaques interne 18 et externe 19 sont, par exemple, des plaques de bois contreplaqué collées sur ladite couche de mousse polymère isolante 17. Selon une variante, les plaques interne 18 et externe 19 sont réalisées dans une matrice polymère renforcée par des fibres, tels que des fibres de verre. La mousse polymère isolante peut notamment être une mousse à base de polyuréthane. La mousse polymère est, avantageusement, renforcée par des fibres, telle que des fibres de verre, contribuant à réduire sa contraction thermique.
- [0130] Les panneaux isolants 16 sont ancrés à la structure porteuse 23 au moyen de dispositifs d'ancrage secondaires, non représentés. Chaque panneau isolant 16 est, par exemple, fixé à au moins chacun de ses quatre coins. Chaque dispositif d'ancrage secondaire comporte un goujon soudé à la structure porteuse 23 ainsi qu'un organe d'appui qui est fixé sur le goujon et qui est en appui contre une zone d'appui des panneaux isolants 16. Selon un mode de réalisation, la plaque externe 19 des panneaux isolants 16 déborde par rapport à la couche de mousse polymère isolante 17, au moins au niveau des coins du panneau isolant 16, de manière à former les zones d'appui des panneaux isolants 16 coopérant avec les organes d'appui des dispositifs d'ancrage secondaires. Des organes élastiques, tels que des rondelles Belleville, sont avantageusement enfilés sur le goujon, entre un écrou monté sur le goujon et l'organe d'appui, ce qui permet d'assurer un ancrage élastique des panneaux isolants 16 sur la structure porteuse 23.
- [0131] De manière avantageuse, des portions de mastic 20 sont interposées entre la plaque externe 19 des panneaux isolants 16 et la structure porteuse 23. Les portions de mastic 20 contribuent ainsi à compenser les irrégularités de surface de la structure porteuse 23. Selon une variante de réalisation avantageuse, les portions de mastic 20 adhèrent à la plaque externe 19 des panneaux isolants 16 et à la structure porteuse 23. Les portions de mastic 20 participent ainsi à l'ancrage des panneaux isolants 16 sur la structure porteuse 23. Dans une telle variante de réalisation, les dispositifs d'ancrage secondaires sont optionnels.
- [0132] Les panneaux isolants 16 présentent sensiblement une forme de parallépipède rectangle et sont juxtaposés selon des rangées parallèles et séparés les uns des autres par des interstices 21 garantissant un jeu fonctionnel de montage. Les interstices 21

sont comblés avec une garniture calorifuge, non représentée, telle que de la laine de verre, de la laine de roche ou de la mousse polymère souple à cellules ouvertes, par exemple. Les interstices peuvent également être comblés avec des bouchons isolants, tels que décrits dans les demandes WO2019155157 ou WO2021028624, par exemple.

- [0133] Dans le mode de réalisation représenté, la face interne des panneaux isolants 16 présente deux séries de rainures 22 perpendiculaires l'une à l'autre et destinées à la réception d'ondulations, faisant saillie vers l'extérieur de la cuve, formées sur les tôles métalliques ondulées de la membrane d'étanchéité secondaire 13. Chacune des séries de rainures 22 est parallèle à deux côtés opposés des panneaux isolants 16. Dans le mode de réalisation représenté, les rainures 22 traversent intégralement l'épaisseur de la plaque interne 18 ainsi qu'une portion interne de la couche de mousse polymère isolante 17. De manière avantageuse, les rainures 22 présentent une forme complémentaire à celles des ondulations de la membrane d'étanchéité secondaire 13.
- [0134] Par ailleurs, la plaque interne 18 des panneaux isolants 16 est équipée de platines métalliques destinées à l'ancrage des bords des tôles métalliques ondulées de la membrane d'étanchéité secondaire 13 sur les panneaux isolants 16. Les platines métalliques s'étendent selon deux directions perpendiculaires qui sont chacune parallèles à deux côtés opposés des panneaux isolants 16. Les platines métalliques sont fixées sur la plaque interne 18 des panneaux isolants 16, par des vis, des rivets ou des agrafes, par exemple. Les platines métalliques sont mises en place dans des évidements ménagés dans la plaque interne 18 de telle sorte que la surface interne des platines métalliques affleure la surface interne de la plaque interne 18.
- [0135] Par ailleurs, les panneaux isolants 16 présentent des fentes de relaxation 27 qui permettent de diminuer leur raideur de sorte que la barrière thermiquement isolante secondaire 12 se déforme de la manière la plus homogène possible. Ceci permet d'obtenir des déformations les plus uniformes possibles des ondulations de la membrane d'étanchéité secondaire 13. De manière avantageuse, les panneaux isolants 16 présentent des fentes de relaxation 27 au moins en regard de chacune des ondulations 24 de la membrane d'étanchéité secondaire 13. Ainsi, une fente de relaxation 27 s'étend à partir du fond de chacune des rainures 22 en direction de la plaque externe 19 des panneaux isolants 16. Selon une variante optionnelle, les blocs isolants 16 comportent également des fentes de relaxation qui débouchent sur la face externe des panneaux isolants 16. De telles fentes de relaxation ne sont alors pas disposées en regard d'une ondulation de la membrane d'étanchéité secondaire 13 mais à mi-distance entre deux ondulations parallèles de la membrane d'étanchéité secondaire 13.
- [0136] La membrane d'étanchéité secondaire 13 comporte une pluralité de tôles métalliques ondulées ayant chacune une forme sensiblement rectangulaire. Les tôles métalliques ondulées sont, par exemple, réalisées en Invar® : c'est-à-dire un alliage de fer et de

nickel dont le coefficient de dilatation est typiquement compris entre  $1,2 \cdot 10^{-6}$  et  $2 \cdot 10^{-6}$   $K^{-1}$ , ou dans un alliage de fer à forte teneur en manganèse dont le coefficient de dilatation est typiquement de l'ordre de  $7 \cdot 10^{-6}$   $K^{-1}$ . De manière alternative, les tôles métalliques ondulées peuvent également être réalisées en acier inoxydable ou en aluminium.

- [0137] Les tôles métalliques ondulées sont soudées à recouvrement le long de leurs bords afin d'assurer l'étanchéité de la membrane d'étanchéité secondaire 13. Par ailleurs, les tôles métalliques ondulées sont disposées de manière décalée par rapport aux panneaux isolants 16 de la barrière thermiquement isolante secondaire 12 de telle sorte que chacune desdites tôles métalliques ondulées s'étende conjointement sur plusieurs panneaux isolants 16 adjacents. Afin d'assurer l'ancrage de la membrane d'étanchéité secondaire 13 sur la barrière thermiquement isolante secondaire 12, les bords des tôles métalliques ondulées sont soudés sur les platines métalliques, par exemple par des soudures par point.
- [0138] La membrane d'étanchéité secondaire 13 présente des ondulations et plus particulièrement une première série d'ondulations s'étendant parallèlement à une première direction et une seconde série d'ondulations s'étendant parallèlement à une seconde direction. Les directions des séries d'ondulations sont perpendiculaires les unes aux autres. Chacune des séries d'ondulations est parallèle à deux bords opposés de la tôle métallique ondulée. Les ondulations font ici saillie vers l'extérieur de la cuve, c'est-à-dire en direction de la structure porteuse 23. La membrane d'étanchéité secondaire 13 comporte, entre les ondulations, une pluralité de zones planes.
- [0139] Les ondulations de la membrane d'étanchéité secondaire 13 sont logées dans les rainures 22 ménagées dans la face interne des panneaux isolants 16 et dans les interstices 21 ménagés entre les panneaux isolants 16 adjacents.
- [0140] Par ailleurs, les zones planes de la membrane d'étanchéité secondaire 13 sont chacune traversées par un dispositif d'ancrage primaire visant à assurer l'ancrage des éléments de support de la barrière thermiquement isolante primaire 14 sur les panneaux isolants 16 de la barrière thermiquement isolante secondaire 12. Chaque dispositif d'ancrage primaire comporte un goujon, non représenté, qui traverse la membrane d'étanchéité secondaire de manière étanche.
- [0141] La barrière thermiquement isolante primaire 14 comporte une pluralité de piliers 30 qui s'étendent selon la direction d'épaisseur de la paroi 11. Les piliers 30 permettent de supporter la membrane d'étanchéité primaire 15 et, par conséquent, de reprendre les efforts dus aux pressions hydrostatiques et dynamiques exercées, sur la membrane d'étanchéité primaire 15, par le gaz liquéfié contenu à l'intérieur de la cuve. Les piliers 30 sont alignés selon des rangées qui sont parallèles à la direction des ondulations de la première série d'ondulations 45a et selon des rangées parallèles à la direction des on-

dulations de la deuxième série d'ondulations 45b.

- [0142] Les piliers 30 comportent chacun une embase externe, une embase interne et une tige s'étendant entre l'embase externe et l'embase interne. L'embase externe et l'embase interne peuvent être réalisées en métal, tel que l'acier inoxydable, ou dans un matériau composite, tel qu'une résine époxy chargée de fibres de verre, par exemple. L'embase externe et l'embase interne sont susceptibles d'être fixées à la tige par tout moyen et notamment par collage. Selon une autre variante de réalisation, la tige ainsi que l'embase externe et l'embase interne formant le pilier 30 sont formés d'un seul tenant, par moulage par exemple. Les piliers présentent une forme tubulaire, de préférence avec une section circulaire.
- [0143] La membrane étanche primaire 15 quant à elle est obtenue de manière similaire à la membrane étanche secondaire par assemblage d'une pluralité de tôles métalliques ondulées 44. Les tôles métalliques ondulées 44 ont chacune une forme sensiblement rectangulaire. Les tôles métalliques ondulées 44 sont, par exemple, réalisées en Invar® : c'est-à-dire un alliage de fer et de nickel dont le coefficient de dilatation est typiquement compris entre  $1,2 \cdot 10^{-6}$  et  $2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , ou dans un alliage de fer à forte teneur en manganèse dont le coefficient de dilatation est typiquement de l'ordre de  $7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . De manière alternative, les tôles métalliques ondulées 44 peuvent également être réalisées en acier inoxydable ou en aluminium.
- [0144] Les tôles métalliques ondulées 44 sont soudées à recouvrement le long de leurs bords afin d'assurer l'étanchéité de la membrane d'étanchéité primaire 15. La membrane d'étanchéité primaire 15 comporte des ondulations 45. Plus particulièrement, elle comporte une première série d'ondulations 45a s'étendant parallèlement à une première direction et une seconde série d'ondulations 45b s'étendant parallèlement à une seconde direction. Les directions des séries d'ondulations 45a, 45b sont perpendiculaires et sont parallèles ou perpendiculaires aux rangées de piliers 30. Chacune des séries d'ondulations 45a, 45b est parallèle à deux bords opposés des tôles métalliques ondulées 44. Les ondulations 45 font saillie vers l'intérieur de la cuve, c'est-à-dire en direction opposée à la structure porteuse 23. Chaque tôle métallique ondulée 44 comporte entre les ondulations 45, une pluralité de zones planes 46.
- [0145] Chaque zone plane 46 de la membrane d'étanchéité primaire 15 se situe en regard, selon la direction d'épaisseur de la paroi 11, d'une zone plane de la membrane d'étanchéité secondaire 13.
- [0146] Tel qu'illustré sur la [Fig.3] montrant la zone III de la [Fig.2], la paroi 11 comprend une structure modulaire 50 située entre une pluralité de piliers 30 et la membrane d'étanchéité primaire 15.
- [0147] La membrane d'étanchéité primaire 15 est fixée sur la structure modulaire 50 par soudure au niveau des zones plane 46. Selon un mode de réalisation, chacune des

zones planes 46 de la membrane d'étanchéité primaire 15 est fixée sur une plaque respective de la structure modulaire 50. Selon un autre mode de réalisation, la membrane d'étanchéité primaire 15 n'est soudée à la structure modulaire que le long des bords des tôles métalliques ondulées 44.

- [0148] La structure modulaire 50 comporte une première plaque 51, une deuxième plaque 52 et une troisième plaque 53. La deuxième plaque 52 est liée à la première plaque 51 via une première liaison 54 située au niveau d'une portion latérale de la première plaque 51 et une portion latérale de la deuxième plaque 52. La deuxième plaque est également liée via une deuxième liaison 55 à la troisième plaque 53 via une autre portion latérale de la deuxième plaque et une portion latérale de la troisième plaque. La première liaison 54 et la deuxième liaison 55 sont telles qu'elles autorisent un degré de liberté en translation selon une direction X qui est perpendiculaire à la direction d'épaisseur de la paroi et est parallèle à la direction d'une des séries d'ondulation 45a, 45b de la membrane d'étanchéité primaire 15.
- [0149] La structure modulaire 50 est fixée aux piliers 30 par boulonnerie. C'est-à-dire que chaque plaque est respectivement fixée à un pilier 30 par exemple via un système vis écrou 82.
- [0150] Une plaque selon le mode de réalisation de la [Fig.3] est illustrée davantage en détail sur la [Fig.4]. A des fins de compréhension la plaque de la [Fig.4] est nommée première plaque 51. Néanmoins, la deuxième plaque 52 et la troisième plaque 53 de la [Fig.3] présentent des caractéristiques identiques.
- [0151] La première plaque 51 présente une forme générale d'un carré présentant une première portion latérale 101, une deuxième portion latérale 102, une troisième portion latérale 103 qui est opposée à la première portion latérale 101 et une quatrième portion latérale 104.
- [0152] La première portion latérale 101 et la deuxième portion latérale 102 présentent chacune une première languette rectiligne 105, une deuxième languette rectiligne 105 et une languette externe 107 située entre la première languette rectiligne 105 et la deuxième languette rectiligne 105.
- [0153] La troisième portion latérale 103 et la quatrième portion latérale 104 présentent chacune une languette rectiligne 105 située entre une première languette externe 107 et une deuxième languette externe 107.
- [0154] Les languettes externes 107 sont chacune décalée selon une direction d'épaisseur Y de la paroi, en direction de l'extérieur de la cuve, par rapport aux languettes rectilignes 105.
- [0155] La première portion latérale 101 et la deuxième portion latérale 102 sont complémentaires de la troisième portion latérale 103 et la quatrième portion latérale 104.
- [0156] Ainsi, la première portion latérale 101 et la deuxième portion latérale 102 peuvent

chacune se lie avec une quelconque des troisièmes portion latérale 103 et quatrième portions latérale 104 d'une plaque voisine.

[0157] Une telle première plaque 51 est fabriquée par exemple par emboutissage ou pliage d'une tôle métallique.

[0158] Grâce à ces caractéristiques, la structure modulaire 50 permet la répartition uniforme des efforts exercés sur les piliers 30 mais également permet, en cas d'endommagement d'un pilier 30 de maintenir le portage de la membrane d'étanchéité primaire 15.

[0159] Une telle structure modulaire 50 comprenant une pluralité de plaques identiques à la première plaque 51 est notamment illustrée sur les figures 5 et 6.

[0160] On observe sur la [Fig.5] une structure modulaire 50 comportant quatre plaques. La structure modulaire 50 comporte :

- une première plaque 51 liée à une deuxième plaque 52 par contact de la quatrième portion latérale 104 de la première plaque 51 avec la deuxième portion latérale 102 de la deuxième plaque 52. La première plaque 51 étant en outre liée à une troisième plaque 56 par contact de la première portion latérale 101 de la première plaque 51 avec la troisième portion latérale 103 de la troisième plaque 56.

- une quatrième plaque 57 liée à la deuxième plaque 52 par contact de la troisième portion latérale 103 de la quatrième plaque 57 avec la première portion latérale 101 de la deuxième plaque 52. La quatrième plaque 57 étant en outre liée à une troisième plaque 56 par contact de la deuxième portion latérale 102 de la quatrième plaque 57 avec la quatrième portion latérale 104 de la troisième plaque 56.

[0161] On observe un trou 60 au centre des première, deuxième, troisième et quatrième plaques de la [Fig.5]. Ce trou 60 vise à éviter une superposition de matière entraînant des difficultés de montages de la structure modulaire.

[0162] Les caractéristiques de cette structure modulaire et notamment des portions latérales des plaques indiquées ci-dessus permettent d'assembler un nombre important de plaques et donc de former une structure modulaire présentant les dimensions adaptées aux dimensions souhaitées. Les plaques collaborent entre elles par l'intermédiaire des liaisons.

[0163] Selon une variante de réalisation présentée sur la [Fig.6], la paroi 111 pour une cuve étanche et thermiquement isolante de stockage d'un gaz liquéfié comprend un élément de support 130 pouvant être :

- un panneau thermiquement isolant comportant une couche de mousse polymère isolante autoporteuse prise en sandwich entre une plaque de bois contreplaquée interne et une plaque de bois contreplaquée externe ; ou

- un caisson isolant rempli d'une garniture thermiquement isolante.

[0164] L'élément de support comprend en outre une couche de matériau souple 31 positionnée contre le panneau ou le caisson isolant 130, la structure modulaire 50 étant

positionnée et fixée contre la couche de matériau souple 31.

- [0165] Dans ce mode de réalisation, chaque plaque comporte en son centre un évidement circulaire 83 comportant un orifice traversant 84 destiné à recevoir une fixation. La fixation pour figer chaque plaque selon la direction d'épaisseur Y de la paroi 111 est effectuée en un point unique, par exemple au centre de la plaque, par exemple par de la boulonnerie.
- [0166] De manière similaire aux modes de réalisation précités, les plaques de la structure modulaire 50 collaborent entre elles par l'intermédiaire des liaisons au niveau des portions latérales qui permettent un mouvement selon la direction perpendiculaire X à la direction d'épaisseur de la paroi 111. C'est-à-dire que lorsque la membrane étanche (non représentée sur la [Fig.6]) se contracte ou se dilate en réponse aux contraintes thermiques, les plaques de la structure modulaire 50 sont chacune libre de glisser en translation selon la direction X.
- [0167] En outre, lorsque des charges locales sont appliquées dans la direction d'épaisseur Y de la paroi, par exemple les pressions exercées par le liquide contenu dans la cuve, lesdites charges sont répercutées sur la structure modulaire 50 et, notamment, sur la pluralité de plaques qui compose la structure modulaire 50. En outre, la couche de matériau souple 31 permet d'accroître l'effet de répartition des charges.
- [0168] Grâce à ces caractéristiques, dans le cas d'un panneau thermiquement isolant, les charges d'un impact local sont réparties sur une plus grande surface. Il en résulte donc diminution de la valeur maximum de la contrainte exercée sur le panneau thermiquement isolant. Il est donc possible de remplacer par exemple une mousse à  $250\text{kg/m}^3$  par une mousse de densité plus faible, par exemple de  $170\text{kg/m}^3$ , menant à une économie de matière et donc de coût important et à une amélioration du comportement thermique du panneau isolant.
- [0169] Une autre variante de réalisation d'une structure modulaire 150 est maintenant présentée en relation avec les figures 7 à 9.
- [0170] De manière différente au mode de réalisation décrit précédemment, la structure modulaire 150 comporte une pluralité de plaques liées entre elles via un système tenon-mortaise illustré plus en détail sur les figures 8 et 9.
- [0171] La plaque 58 de la [Fig.8] présente, de manière similaire à la plaque 51 de la [Fig.4], une forme générale d'un carré présentant une première portion latérale 201, une deuxième portion latérale 202, une troisième portion latérale 203 qui est opposée à la première portion latérale 201 et une quatrième portion latérale 204. La plaque 58 présente une symétrie selon l'axe S passant par une diagonale de ladite plaque 58.
- [0172] La première portion latérale 201 et la deuxième portion latérale 202 présentent chacune un premier et un deuxième tenons rectangulaires 205 et un tenon cylindrique 206 faisant saillies respectivement depuis la première portion latérale 201 de la plaque

58 et depuis la deuxième portion latérale 202 de la plaque 58.

- [0173] La troisième portion latérale 203 et la quatrième portion latérale 204 présentent chacune une première et une deuxième mortaises rectangulaires 207 et une mortaise cylindrique 208 creusées respectivement dans la troisième portion latérale 203 de la plaque 58 et dans la quatrième portion latérale 204 de la plaque 58. Les dimensions des mortaises sont adaptées afin de permettre la réception des tenons correspondants.
- [0174] Selon le mode de réalisation présentée sur la [Fig.7], chaque plaque de la structure modulaire 150 présente les caractéristiques de la plaque 58.
- [0175] Ainsi, la première portion latérale 201 et la deuxième portion latérale 202 peuvent chacune se lier avec une quelconque des troisièmes portion latérale 203 et quatrième portion latérale 204 d'une plaque voisine.
- [0176] Sur la [Fig.7], pour chaque plaque, les premier et deuxième tenons rectangulaires 205 et le tenon cylindrique 206 de la première portion latérale 201 sont respectivement liés aux première et deuxième mortaises rectangulaires 207 et à la mortaise cylindrique 208 de la troisième portion latérale 203 de la plaque adjacente.
- [0177] De manière similaire, la deuxième portion latérale 202 est liée à la quatrième portion latérale 204 de la plaque adjacente via les premier et deuxième tenons rectangulaires 205 et le tenon cylindrique 206 de la deuxième portion latérale 201 qui s'emboitent dans les première et deuxième mortaises rectangulaires 207 et à la mortaise cylindrique 208 de la quatrième portion latérale 203 de la plaque adjacente.
- [0178] Une vue agrandie de la [Fig.7] d'une liaison du premier tenon rectangulaire 205 avec la première mortaise 207 est illustrée sur la [Fig.9]. Les dimensions en largeur du premier tenon 205 sont inférieures aux dimensions en largeur de la première mortaise 207 afin d'autoriser un mouvement du premier tenon 205 dans la première mortaise 207, selon les directions X1 et X2 perpendiculaires à la direction d'épaisseur de la paroi. Cette différence de dimensions permet notamment d'autoriser un mouvement de glissière en réponse à une contraction ou une dilatation thermique sans rompre complètement la liaison. C'est-à-dire que les dimensions sont aussi choisies au regard de la contraction et dilatation thermique estimée afin que le tenon ne sorte pas complètement de la mortaise.
- [0179] D'une manière différente du mode de réalisation décrit précédemment, la structure modulaire 450 comporte une pluralité de plaques 451 liées entre elles via un système d'emboitement tel qu'illustré sur les figures 13 et 14.
- [0180] Ce mode de réalisation se distingue des précédents modes de réalisation en ce que la structure modulaire 450 comporte une pluralité de plaques 451, dont quatre sont illustrées sur la [Fig.13] qui sont emboîtées entre-elles par complémentarité de forme entre une portion latérale d'une plaque 451 et une portion latérale d'une autre plaque 451 adjacente. Les formes complémentaires des deux plaques 451 emboîtées

présentent chacune des ouvertures 452 qui s'étendent selon une direction perpendiculaire X à la direction d'épaisseur de la paroi, les ouvertures 452 forment un passage traversant destiné à recevoir une tige rectiligne 453. Les ouvertures 452 présentent par exemple une forme oblongue.

- [0181] Une tige rectiligne 453 est logée dans les ouvertures traversantes 452 consécutives et traverse lesdites ouvertures traversantes 452 consécutives afin de maintenir un degré de liaison selon la direction d'épaisseur Y de la paroi des plaques emboîtées. La dimension transversale de la tige rectiligne 453, mesurée perpendiculairement à la direction d'épaisseur est inférieure à la dimension transversale correspondante desdites ouvertures traversantes 452. En d'autres termes, la tige rectiligne 453 est montée avec un jeu selon une direction transversale perpendiculaire à la direction longitudinale de la tige rectiligne 453 et à la direction d'épaisseur Y de la paroi, ce qui permet d'autoriser les mouvements relatifs des plaques les unes par rapport aux autres dans le plan orthogonal à la direction d'épaisseur de la paroi.
- [0182] La tige rectiligne 453 présente, au niveau d'une extrémité, une butée sous la forme d'une embase 454 afin de maintenir la tige rectiligne 453 logée dans le passage traversant.
- [0183] La [Fig.10] illustre un autre mode de réalisation d'une structure modulaire 250. Les piliers 30 de la [Fig.10] sont organisés en rangées, de manière similaire aux piliers 30 présentés sur la [Fig.2].
- [0184] Ce mode de réalisation se distingue des précédents modes de réalisation en ce que la structure modulaire 250 comporte une pluralité de plaques 251 liées entre elles par l'intermédiaire de poutrelles métalliques aptes à glisser selon l'une des directions X1, X2 perpendiculaires à la direction d'épaisseur de la paroi parallèle à l'une des séries d'ondulations des séries d'ondulation 45a, 45b de la membrane d'étanchéité primaire 15.
- [0185] Pour ce faire, la structure modulaire 250 comporte en outre une pluralité de manchons 252 qui sont chacun positionnés sur une extrémité interne d'un pilier 30. Chaque manchon 252 comporte deux ouvertures traversantes formant une encoche en forme de croix.
- [0186] Une pluralité de poutrelles métalliques continues 253 traversent chacune une série de manchon 252 alignés via leur encoche respective, selon une première direction X1, perpendiculaire à la direction d'épaisseur de la paroi. Sur la [Fig.10], on observe notamment trois poutrelles métalliques continues 253 parallèles entre elles et traversant chacune au moins quatre manchons alignés. Les poutrelles métalliques continues 253 sont aptes à effectuer un mouvement de glissement selon la première direction X1.
- [0187] Une pluralité de poutrelles métalliques discontinues 254 relie chacune, selon une deuxième direction X2 qui est perpendiculaire à la direction d'épaisseur de la paroi et

qui est perpendiculaire à la première direction X1, un premier manchon 252 d'un premier pilier 30 avec un deuxième manchon 252 d'un deuxième pilier 30 adjacent au premier pilier 30 via leur encoche respective. Les poutrelles métalliques discontinues 254 sont aptes à effectuer un mouvement de glissement selon la deuxième direction X2.

- [0188] Chaque plaque 251 est fixée, par exemple au moyen de rivets 85, à un pilier 30 par l'intermédiaire d'un manchon 252.
- [0189] De manière similaire à la [Fig.2], la structure modulaire 250 permet également une répartition uniforme des efforts exercés sur les piliers 30 mais également permet, en cas d'endommagement d'un pilier 30, de maintenir le portage de la membrane étanche primaire.
- [0190] Selon une variante (non représentée) de réalisation de la [Fig.10], l'élément porteur est un panneau isolant à la place des piliers 30 et les manchons 252 sont répartis sur une surface interne du panneau isolant et les poutrelles métalliques continues et discontinues sont réparties de manière similaire à la [Fig.10].
- [0191] La [Fig.11] présente une autre variante de réalisation d'une paroi pour une cuve étanche et thermiquement isolante de stockage d'un gaz liquéfié. La structure modulaire 350 se différencie par rapport à la structure modulaire 250 de la [Fig.10] en ce qu'elle comprend des manchons 352 de forme cubique et en ce qu'elle comprend une pluralité de poutrelles métalliques discontinues 254, selon une première direction X1 et selon la deuxième direction X2, reliant deux manchons 352 adjacents.
- [0192] Selon une variante (non représentée) de réalisation de la [Fig.11], l'élément porteur est un panneau isolant à la place des piliers 30 et les manchons 352 sont répartis sur une surface interne du panneau isolant et les poutrelles métalliques discontinues sont réparties de manière similaire à la [Fig.11].
- [0193] En référence à la [Fig.12], une vue écorchée d'un navire 70 pour le transport d'un gaz liquéfié montre une cuve étanche et thermiquement isolante 71 de forme générale prismatique montée dans la double coque 72 du navire. La paroi de la cuve 71 comporte une membrane d'étanchéité primaire destinée à être en contact avec le gaz liquéfié, par exemple du GNL, contenu dans la cuve, une membrane d'étanchéité secondaire agencée entre la membrane d'étanchéité primaire et la double coque 72 du navire, 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 double coque 72.
- [0194] De manière connue en soi, des canalisations de chargement/déchargement 73 disposées sur le pont supérieur du navire peuvent être raccordées, au moyen de connecteurs appropriés, à un terminal maritime ou portuaire pour transférer une cargaison de GNL depuis ou vers la cuve 71.

- [0195] La [Fig.12] 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 un faisceau de tuyaux flexibles isolés 79 pouvant se connecter aux canalisations de chargement/déchargement 73. Le bras mobile 74 orientable s'adapte à tous les gabarits de navires 70. 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 70 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 70 à grande distance de la côte pendant les opérations de chargement et de déchargement.
- [0196] Pour engendrer la pression nécessaire au transfert du gaz liquéfié, on met en œuvre des pompes embarquées dans le navire 70 et/ou des pompes équipant l'installation à terre 77 et/ou des pompes équipant le poste de chargement et de déchargement 75.
- [0197] 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.
- [0198] 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.
- [0199] Dans les revendications, tout signe de référence entre parenthèses ne saurait être interprété comme une limitation de la revendication.

## Revendications

- [Revendication 1] Paroi (11, 111) pour une cuve étanche et thermiquement isolante de stockage d'un gaz liquéfié, la paroi (11, 111) comportant successivement, selon une direction d'épaisseur de la paroi (11, 111), une barrière thermiquement isolante (14) destinée à être ancrée à une structure porteuse et une membrane d'étanchéité (15) qui repose contre la barrière thermiquement isolante, la membrane d'étanchéité (15) étant une membrane d'étanchéité ondulée comprenant une première série d'ondulations (45) présentant des premières ondulations (45a) parallèles les unes aux autres et une deuxième série d'ondulations (45b) présentant des deuxièmes ondulations parallèles les unes aux autres et perpendiculaires aux premières ondulations (45a), la membrane d'étanchéité (15) comportant une pluralité de zones planes (46) qui sont chacune définies entre deux premières ondulations adjacentes et entre deux deuxièmes ondulations adjacentes, la barrière thermiquement isolante comporte :
- au moins un élément de support (30, 130) et
  - une structure modulaire (50, 150, 250, 350, 450) située entre l'au moins un élément de support (30, 130) et la membrane d'étanchéité (15), la structure modulaire étant fixée contre l'au moins un élément de support (30, 130), la membrane d'étanchéité (15) reposant contre la structure modulaire et étant fixée à ladite structure modulaire, la structure modulaire comportant au moins une première plaque (51, 58) et une deuxième plaque (52), la membrane d'étanchéité (15) comprend une première zone (46) fixée à la première plaque (51, 58) et une deuxième zone fixée à la deuxième plaque (52), la première zone et la deuxième zone correspondent à deux zones planes adjacentes, la première plaque (51, 58) étant liée à la deuxième plaque (52) par une liaison (54) qui présente un degré de liberté en translation selon une direction perpendiculaire (X) à la direction d'épaisseur de la paroi (11, 111) et un degré de liaison selon la direction d'épaisseur (Y) de la paroi (11, 111).
- [Revendication 2] Paroi selon la revendication 1, dans laquelle la liaison (54) est formée par un contact direct entre une portion latérale (101, 102, 201, 202) de la première plaque (51) et une portion latérale (103, 104, 203, 204) de la deuxième plaque (52).
- [Revendication 3] Paroi selon la revendication 2, dans laquelle la portion latérale (101,

102, 201, 202) de la première plaque (51) comporte au moins une première languette rectiligne (105) et une languette externe (107) respectivement situées de part et d'autre selon la direction d'épaisseur de la paroi (11, 111) d'une portion respective de la portion latérale (103, 104, 203, 204) de la deuxième plaque (52).

[Revendication 4] Paroi selon la revendication 3, dans laquelle la portion latérale (101, 102) de la première plaque (51) comporte une deuxième languette rectiligne (105), la languette externe (107) étant positionnée entre la première et la deuxième languettes rectilignes (105) et la portion latérale (103, 104) de la deuxième plaque (52) comporte une première languette externe (107), une deuxième languette externe (107) et une languette rectiligne (105) positionnée entre la première languette externe (107) et la deuxième languette externe (107) de la portion latérale (103, 104) de la deuxième plaque (52), la première et la deuxième languettes rectilignes (105) de la portion latérale (101, 102) de la première plaque (51) s'étendant de manière rectiligne et la première et la deuxième languettes externes (107) de la portion latérale (103, 104) de la deuxième plaque étant décalées selon la direction d'épaisseur (Y) de la paroi (11, 111) et positionnées respectivement à l'extérieur de la languette rectiligne (105) de la portion latérale (103, 104) de la deuxième plaque (52), la languette rectiligne (105) de la portion latérale (103, 104) de la deuxième plaque (52) s'étendant de manière rectiligne et la languette externe (107) de la portion latérale (101, 102) de la première plaque étant décalées selon la direction d'épaisseur (Y) de la paroi (11, 111) et positionnée à l'extérieur de la languette rectiligne (105) de la portion latérale (103,104) de la deuxième plaque.

[Revendication 5] Paroi selon la revendication 2, dans laquelle la portion latérale (201, 202) de la première plaque (58) coopère par emboîtement de forme avec la portion latérale (203, 204) de la deuxième plaque et forme une zone d'emboîtement.

[Revendication 6] Paroi selon la revendication 5, dans laquelle la portion latérale (201, 202) de la première plaque (58) comporte un tenon (205, 206) faisant saillie en direction de la deuxième plaque, ledit tenon étant réceptionné par une mortaise (207, 208) agencée dans la portion latérale (203, 204) de la deuxième plaque.

[Revendication 7] Paroi selon la revendication 5, dans laquelle la zone d'emboîtement présente un passage traversant qui traverse selon la direction perpendiculaire (X) à la direction d'épaisseur de la paroi (11, 111), la portion

latérale de la première plaque et la portion latérale de la deuxième plaque,  
 le passage traversant étant formé par au moins une ouverture (452) ménagée dans la portion latérale de la première plaque correspondant avec au moins une ouverture (452) ménagée dans la portion latérale de la deuxième plaque,  
 une tige (453) étant logée dans ledit passage traversant pour que la première plaque et la deuxième plaque présentent un degré de liaison selon la direction d'épaisseur de la paroi.

[Revendication 8] Paroi selon l'une des revendications 1 à 7, dans laquelle la structure modulaire (50, 150, 250, 350) comprend une troisième plaque (56), une quatrième plaque (57) et une cinquième plaque, la membrane d'étanchéité (15) comprenant une troisième zone fixée (46) à la troisième plaque, une quatrième zone fixée à la quatrième plaque (57) et une cinquième zone (46) fixée à la cinquième plaque, la première plaque (51, 58) étant liée aux troisième, quatrième et cinquième plaques par des liaisons qui présentent un degré de liberté en translation selon une direction perpendiculaire (X) à la direction d'épaisseur de la paroi (11, 111) et un degré de liaison selon la direction d'épaisseur (Y) de la paroi (11, 111).

[Revendication 9] Paroi selon l'une des revendications 1 à 8, dans laquelle la première plaque (51, 58) est fixée contre l'au moins un élément de support (30, 130) via une première fixation située au centre de la première plaque (51, 58), et  
 la deuxième plaque (52) est fixée contre l'au moins un élément de support (30, 130) via une deuxième fixation située au centre de la deuxième plaque (52).

[Revendication 10] Paroi selon l'une des revendications 1 à 9, dans laquelle le au moins un élément de support (130) est un panneau thermiquement isolant comportant une couche de mousse isolante autoporteuse prise en sandwich entre une plaque rigide interne et une plaque rigide externe.

[Revendication 11] Paroi selon l'une des revendications 1 à 10, dans laquelle le au moins un élément de support (130) est un caisson isolant comportant une plaque de fond, une plaque de couvercle et des voiles porteurs s'étendant, dans la direction d'épaisseur de la paroi entre la plaque de fond et la plaque de couvercle et délimitant au moins un compartiment rempli d'une garniture thermiquement isolante.

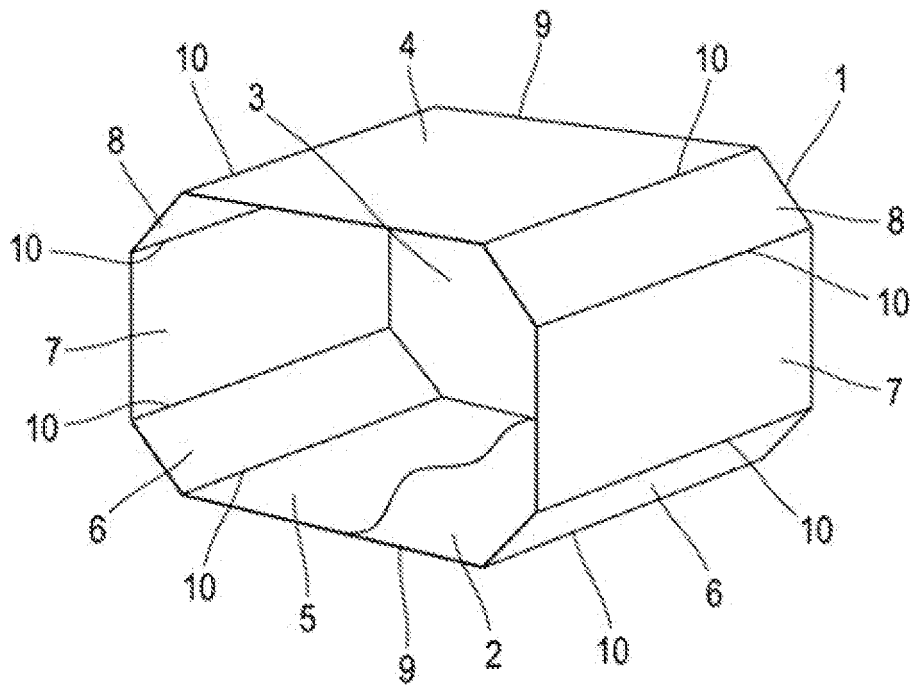
[Revendication 12] Paroi selon l'une des revendications 1 à 11, dans laquelle le au moins un

- élément de support (130) comprend une couche de matériau souple (31) en contact avec la structure modulaire.
- [Revendication 13] Paroi selon l'une des revendications 1 à 12, dans laquelle la barrière thermiquement isolante comprend un premier élément de support et un deuxième élément de support, le premier élément de support étant un premier pilier (30) et le deuxième élément de support étant un deuxième pilier (30), le premier pilier et le deuxième pilier (30) s'étendant selon la direction d'épaisseur (Y) de la paroi (11, 111), le premier pilier (30) étant fixé à la première plaque (51, 58) et le deuxième pilier (30) étant fixé à la deuxième plaque (52, 58).
- [Revendication 14] Paroi selon la revendication 13, dans laquelle la structure modulaire (250, 350) comprend :
- un premier manchon (252, 352) fixé entre une extrémité interne du premier pilier (30) et la première plaque,
  - un deuxième manchon (252, 352) fixé entre une extrémité interne du deuxième pilier (30) et la deuxième plaque, et
  - une poutrelle métallique (253, 254) reliant le premier manchon (252, 352) et le deuxième manchon (252, 352) par une jonction glissante selon la direction perpendiculaire (X) à la direction d'épaisseur de la paroi (11).
- [Revendication 15] Paroi selon la revendication 14, dans laquelle la barrière thermiquement isolante (14) comprend un troisième élément de support, le troisième élément de support étant un troisième pilier (30) s'étendant selon la direction d'épaisseur (Y) de la paroi (11), dans laquelle le premier pilier (30), le deuxième pilier (30) et le troisième pilier (30) sont alignés.
- [Revendication 16] Paroi selon la revendication 15, dans laquelle la structure modulaire (250, 350) comprend une troisième plaque et un troisième manchon (252, 352) fixé entre une extrémité interne du troisième pilier (30) et la troisième plaque, la membrane d'étanchéité (15) comprenant une troisième zone fixée à la troisième plaque, dans laquelle, la poutrelle métallique (253) relie le troisième manchon.
- [Revendication 17] Paroi selon l'une des revendications 14 à 16, dans laquelle le premier manchon (252, 352) et le deuxième manchon (252, 352) comportent une ouverture traversante dans la direction perpendiculaire (X) à la direction d'épaisseur de la paroi (11) afin de réceptionner la poutrelle métallique (253,254).
- [Revendication 18] Paroi selon l'une des revendications 1 à 17, dans laquelle la barrière thermiquement isolante (14) est une barrière thermiquement isolante

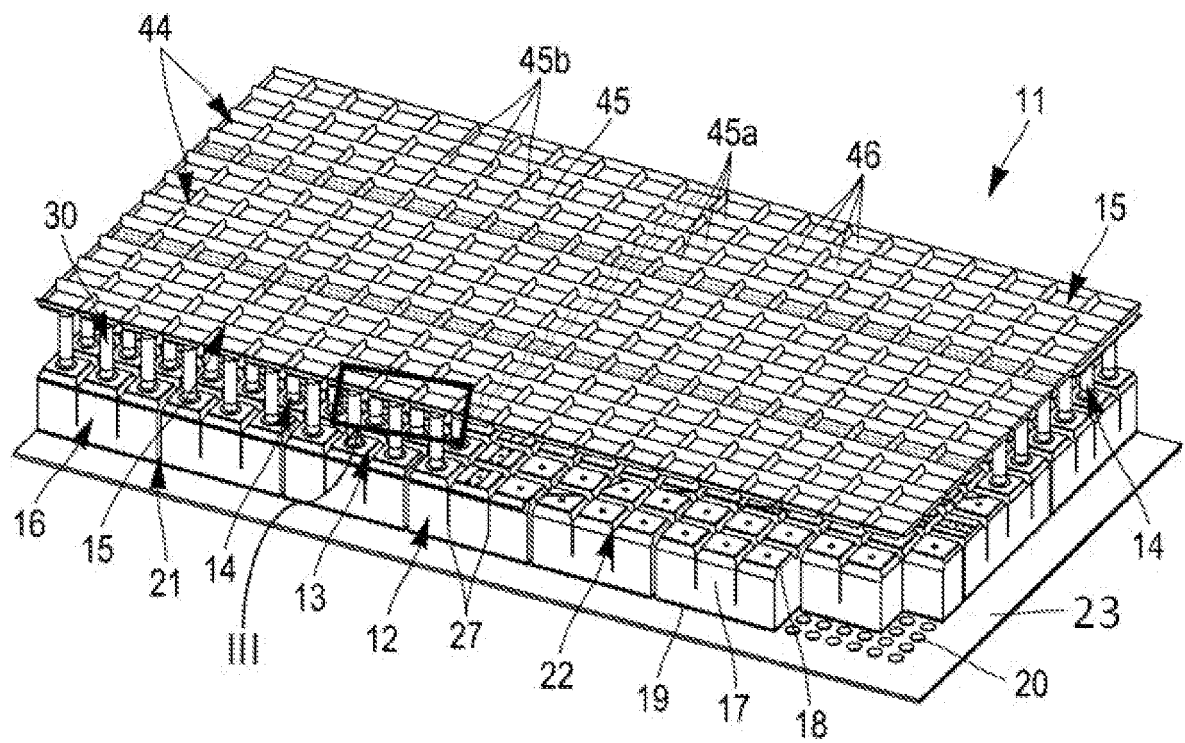
primaire (14) et la membrane d'étanchéité (15) est une membrane d'étanchéité primaire (15) qui est destinée à être en contact avec le gaz liquéfié contenu dans la cuve, la paroi (11, 111) comportant une barrière thermiquement isolante secondaire (12) destinée à reposer contre la structure porteuse, une membrane d'étanchéité secondaire (13) qui repose contre la barrière thermiquement isolante secondaire (12), la barrière thermiquement isolante primaire (14) reposant contre la membrane d'étanchéité secondaire (13) et la membrane d'étanchéité primaire (15) reposant contre la barrière thermiquement isolante primaire (14).

- [Revendication 19] Paroi selon l'une des revendications 1 à 18, dans laquelle le gaz liquéfié est de l'hydrogène.
- [Revendication 20] Cuve (1) étanche et thermiquement isolante comportant une pluralité de parois (11, 111) selon l'une quelconque des revendications 1 à 19.
- [Revendication 21] Navire (70) pour le transport d'un gaz liquéfié, le navire comportant une double coque (72) et une cuve étanche et thermiquement isolante (71) selon la revendication 20 disposée dans la double coque.
- [Revendication 22] Système de transfert pour un gaz liquéfié, le système comportant un navire (70), des canalisations isolées (73, 79, 76, 81) agencées de manière à relier la cuve étanche et thermiquement isolante (71) 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 étanche et thermiquement isolante du navire (70) selon la revendication 21.
- [Revendication 23] Procédé de chargement ou déchargement d'un navire (70) selon la revendication 21 dans lequel on achemine un gaz liquéfié à travers des canalisations isolées (73, 79, 76, 81) depuis ou vers une installation de stockage flottante ou terrestre (77) vers ou depuis la cuve étanche et thermiquement isolante (71) du navire (70).

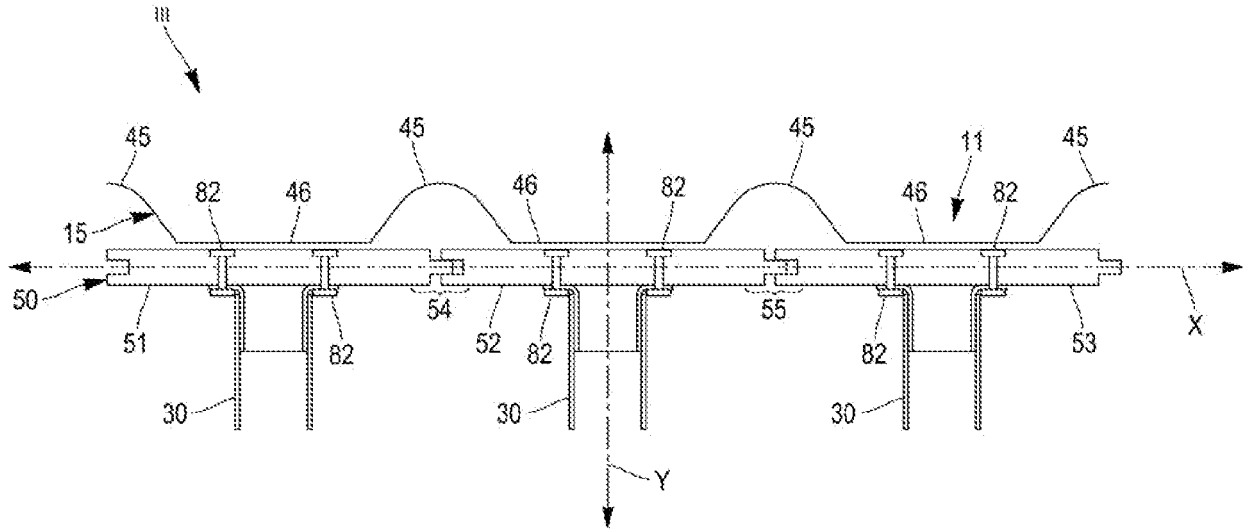
[Fig. 1]



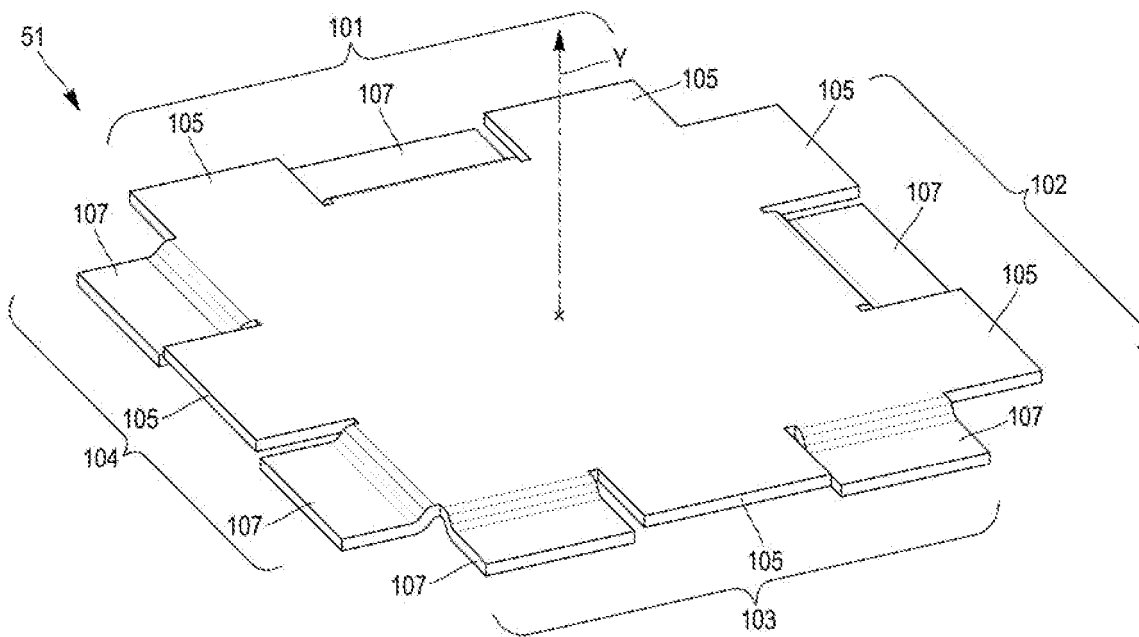
[Fig. 2]



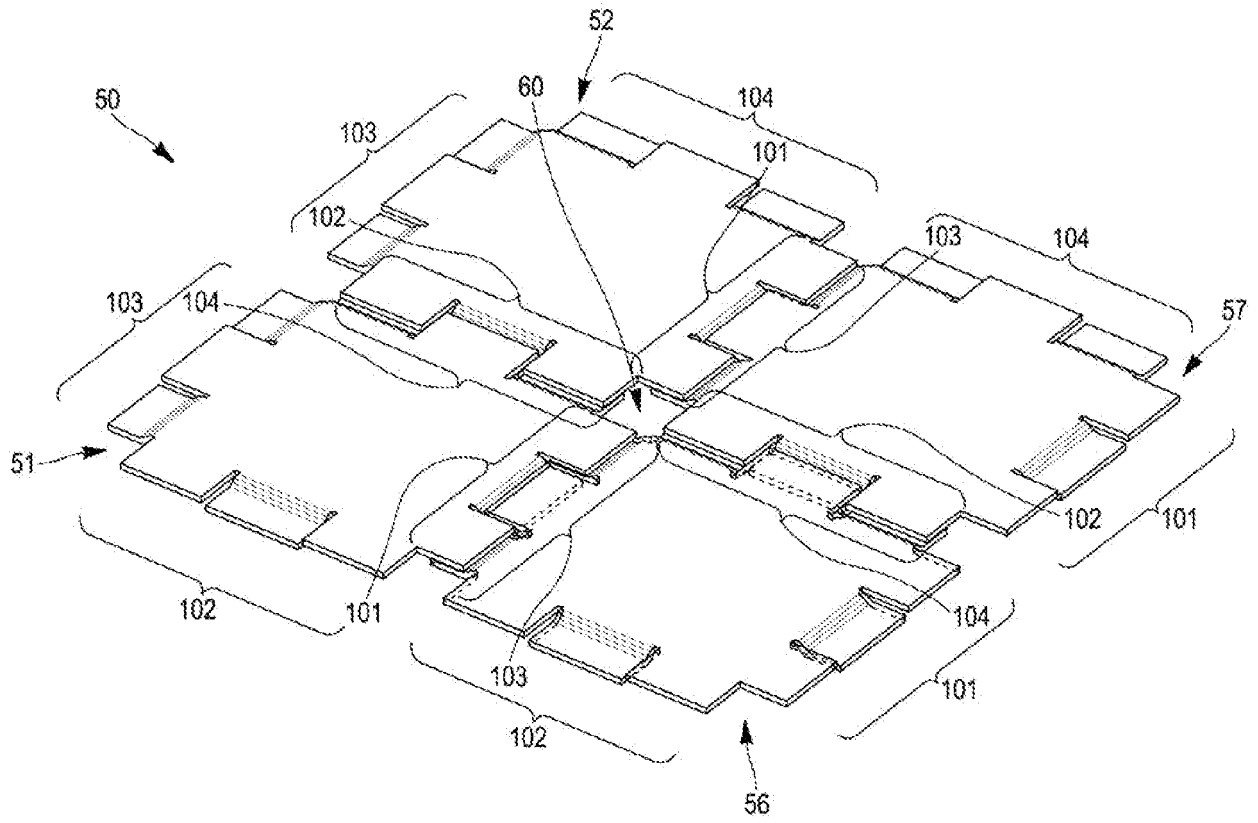
[Fig. 3]



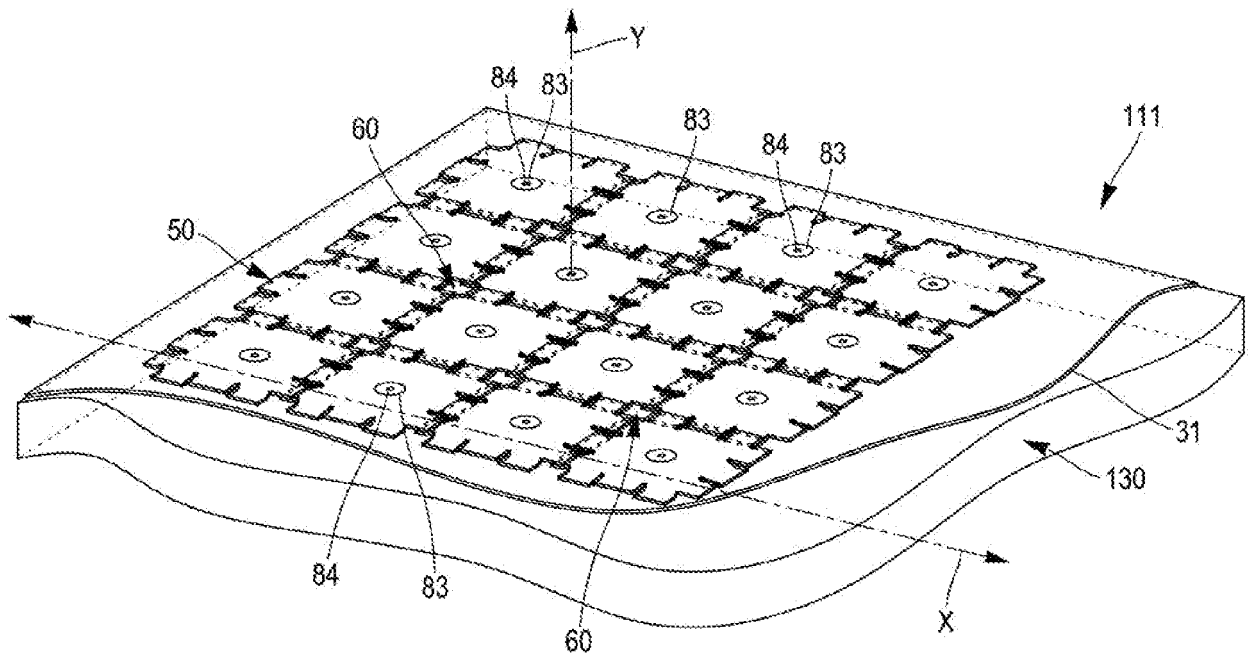
[Fig. 4]



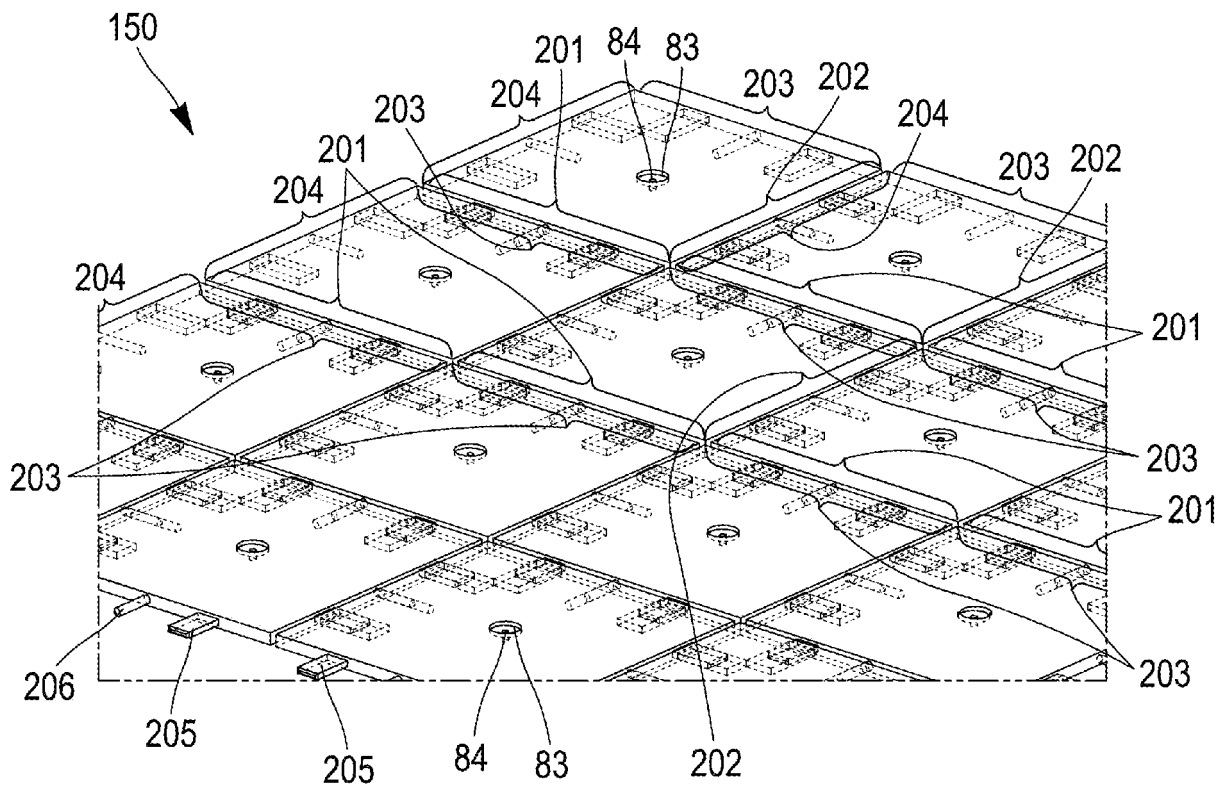
[Fig. 5]



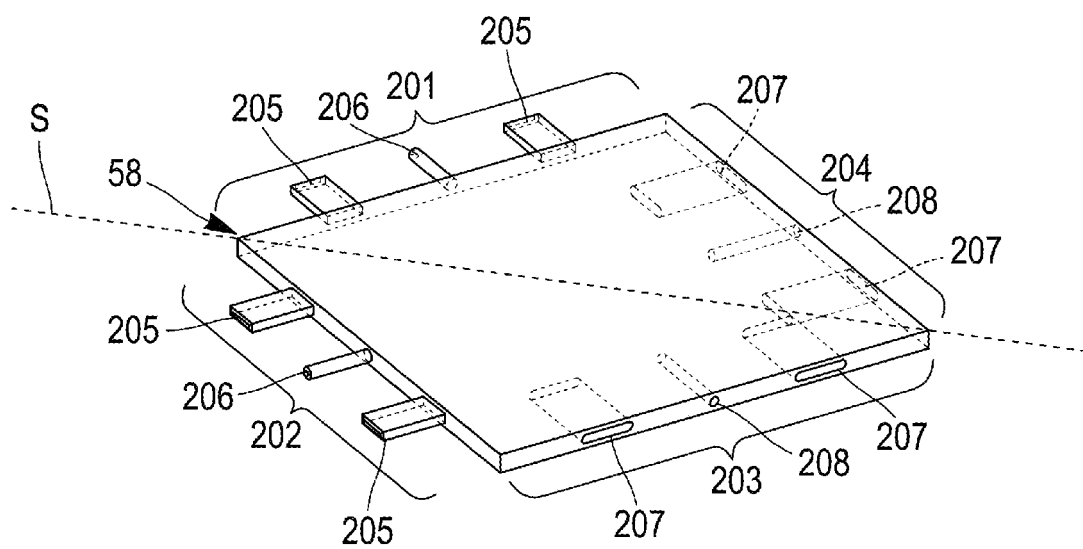
[Fig. 6]



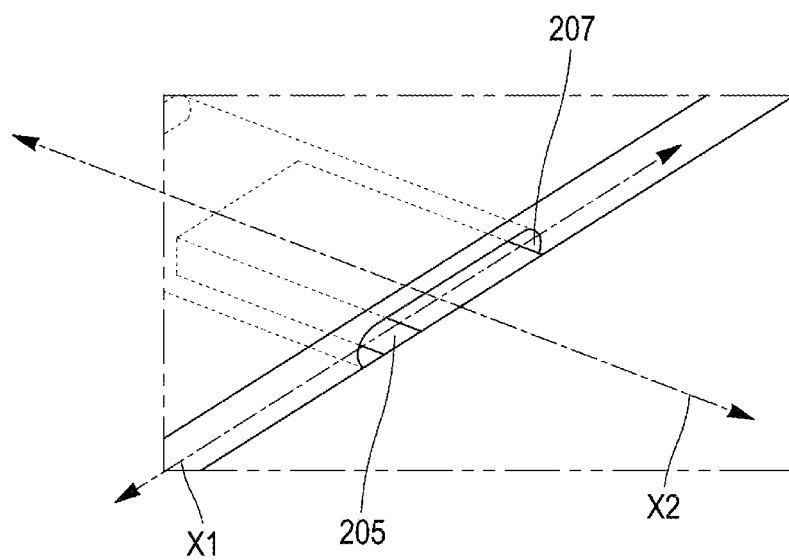
[Fig. 7]



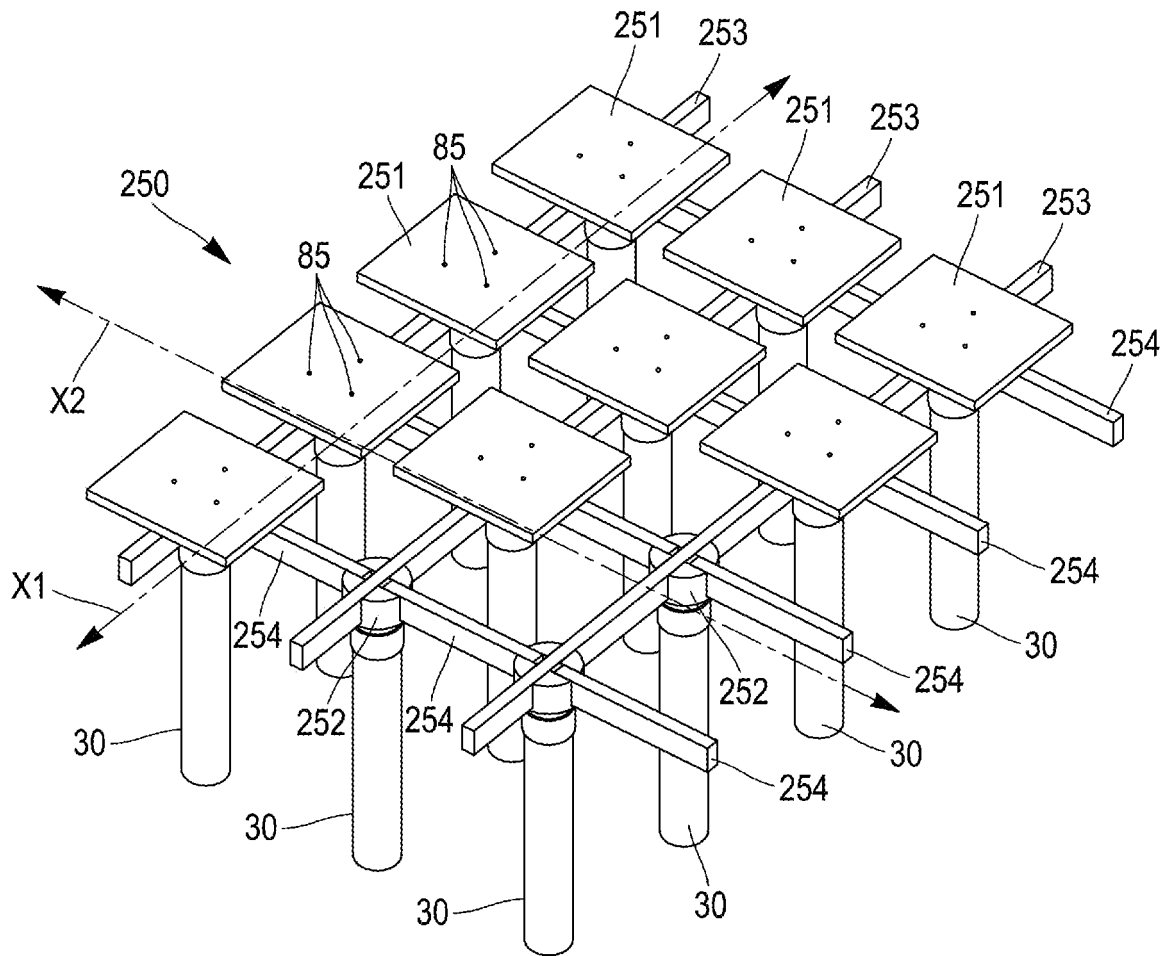
[Fig. 8]



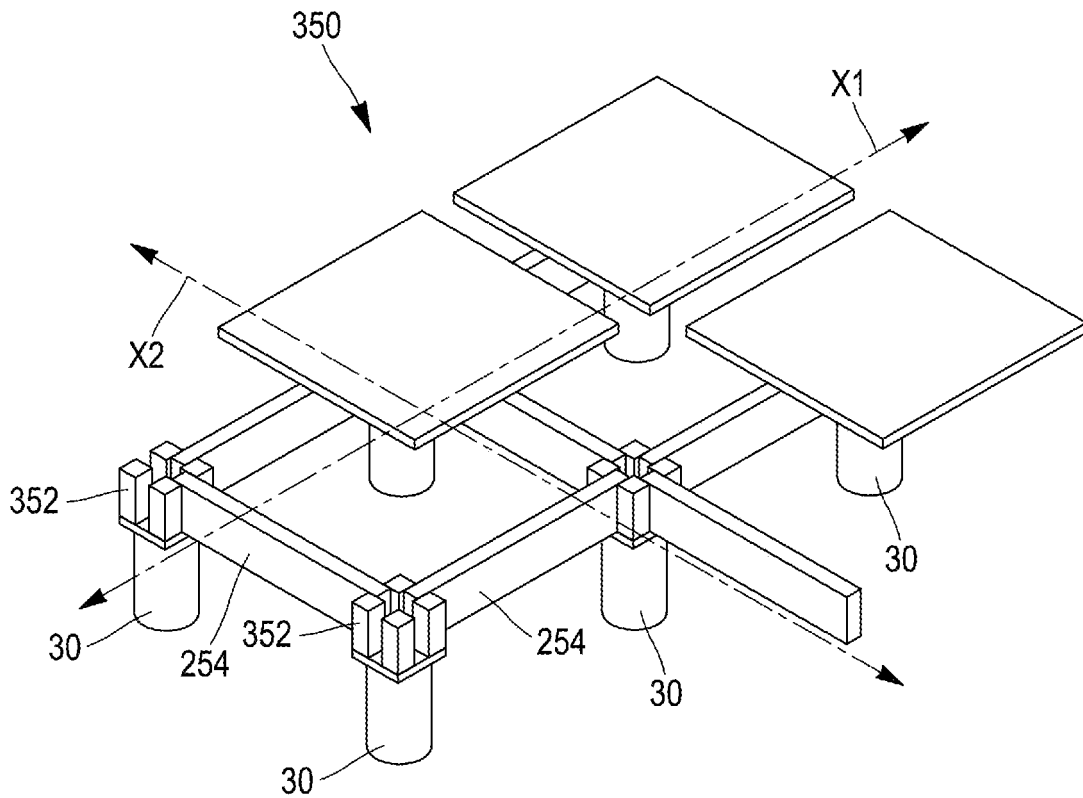
[Fig. 9]



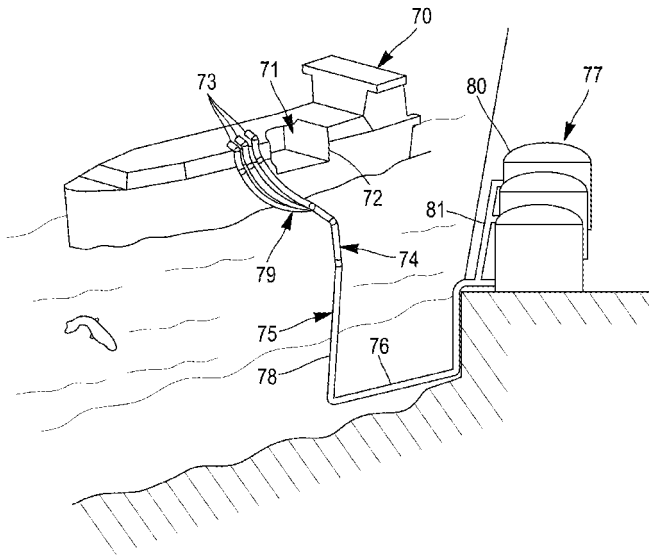
[Fig. 10]



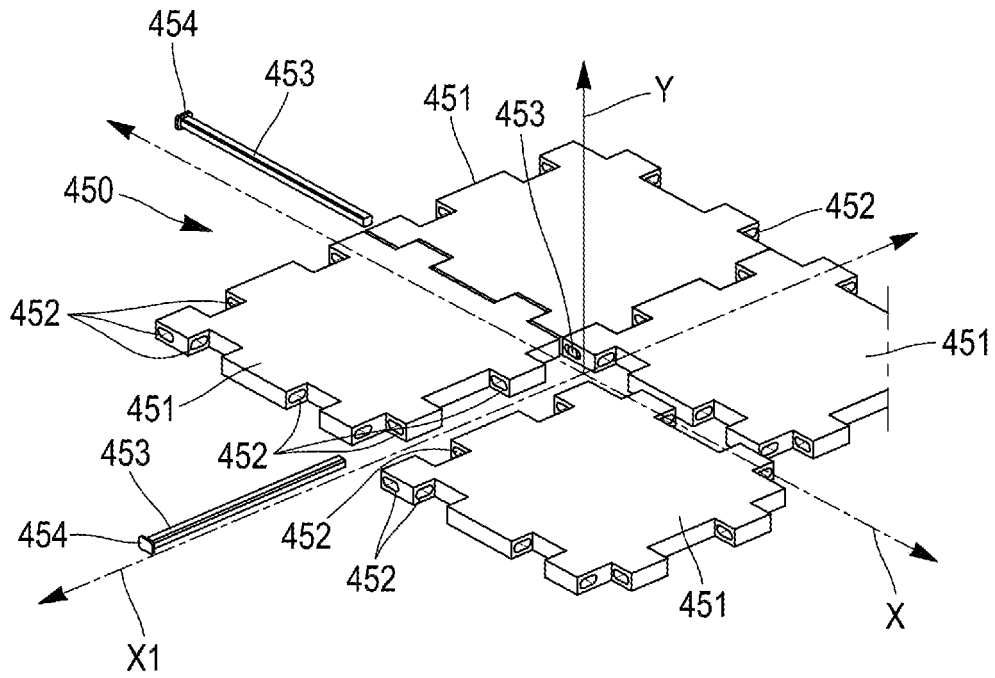
[Fig. 11]



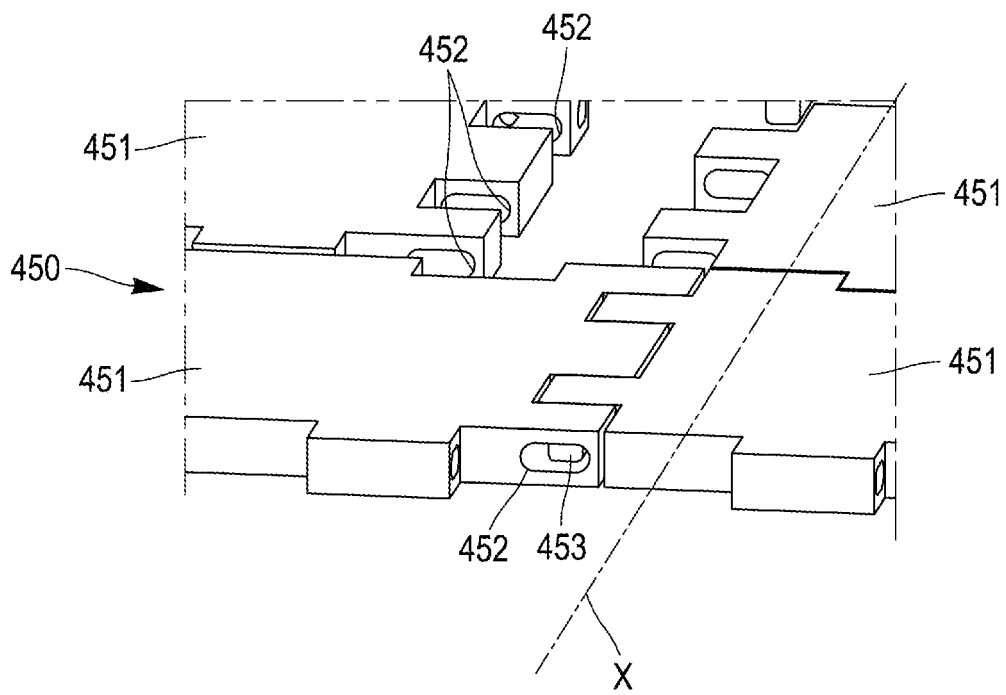
[Fig. 12]



[Fig. 13]



[Fig. 14]



# 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**

FR 3 004 234 A1 (GAZTRANSP ET TECHNIGAZ  
[FR]) 10 octobre 2014 (2014-10-10)

WO 2020/039134 A1 (GAZTRANSPORT ET  
TECHNIGAZ [FR])  
27 février 2020 (2020-02-27)

FR 2 739 675 A1 (GAZTRANSPORT ET TECHNIGAZ  
[FR]) 11 avril 1997 (1997-04-11)

FR 3 115 093 A1 (GAZTRANSPORT ET TECHNIGAZ  
[FR]) 15 avril 2022 (2022-04-15)

KR 2012 0013227 A (SAMSUNG HEAVY IND [KR])  
14 février 2012 (2012-02-14)

WO 2013/169076 A1 (DAEWOO SHIPBUILDING &  
MARINE [KR]) 14 novembre 2013 (2013-11-14)

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

NEANT

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

NEANT