

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2020/021208 A1

(43) Date de la publication internationale
30 janvier 2020 (30.01.2020)

(51) Classification internationale des brevets :
F17C 3/02 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2019/051847

(22) Date de dépôt international :
25 juillet 2019 (25.07.2019)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1856973 26 juillet 2018 (26.07.2018) FR

(71) Déposant : GAZTRANSPORT ET TECHNIGAZ
[FR/FR] ; 1 route de Versailles, 78470 Saint Remy Les Chevreuse (FR).

(72) Inventeurs : OULALITE, Mohammed ; Gaztransport Et Technigaz, 1 route de Versailles, 78470 Saint Remy Les Chevreuse (FR). CHARBONNIER, Pierre ; Gaztransport Et Technigaz, 1 route de Versailles, 78470 SAINT REMY LES CHEVREUSE (FR). SASSI, Mohamed ; Gaztransport Et Technigaz, 1 route de Versailles, 78470 SAINT REMY LES CHEVREUSE (FR). BOYEAU, Marc ; Gaztransport Et Technigaz, 1 route de Versailles, 78470 SAINT REMY LES CHEVREUSE (FR). DELETRE, Bruno ; Gaztransport Et Technigaz, 1 route de Versailles, 78470 SAINT REMY LES CHEVREUSE (FR). PRUNIER, Raphaël ; Gaztransport Et Technigaz, 1 route de Versailles, 78470 SAINT REMY LES CHEVREUSE (FR).

(74) Mandataire : LOYER & ABELLO ; 9 Rue Anatole De La Forge, 75017 PARIS (FR).

(54) Title: SEALED AND THERMALLY INSULATING TANK

(54) Titre : CUVE ETANCHE ET THERMIQUEMENT ISOLANTE

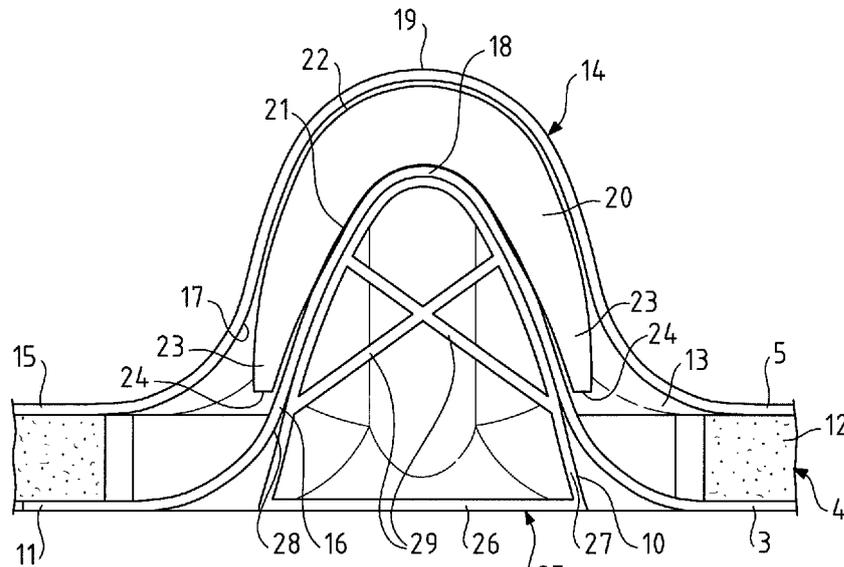


FIG. 2

(57) Abstract: Sealed and thermally insulating tank, comprising a secondary insulation barrier (2), a corrugated secondary sealing membrane (3), a primary insulation barrier (4) and a corrugated primary sealing membrane (5), the primary corrugations (14) and the secondary corrugations (10) being superimposed in a thickness direction, the dimension in the thickness direction of the primary insulation barrier (4) being smaller than the dimension of the secondary corrugations (10) taken in said thickness direction such that the secondary corrugations (10) pass through passages (13) of the primary insulation barrier (4) and are partially housed in the primary corrugations (14), the tank further comprising a primary reinforcement member (20) inserted in the thickness direction between a secondary corrugation (10) and a primary corrugation (14) placed on top of one another to strengthen said primary corrugation (14).



WO 2020/021208 A1

(81) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17(iv))*

Publiée:

— *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*
— *avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2(h))*

(57) **Abrégé :** Cuve étanche et thermiquement isolante comportant une barrière d'isolation secondaire (2), une membrane d'étanchéité secondaire ondulée (3), une barrière d'isolation primaire (4) et une membrane d'étanchéité primaire (5) ondulée, les ondulations primaires (14) et les ondulations secondaires (10) étant superposées selon une direction d'épaisseur, la dimension selon la direction d'épaisseur de la barrière d'isolation primaire (4) étant inférieure à la dimension des ondulations secondaires (10) prise selon ladite direction d'épaisseur de sorte que les ondulations secondaires (10) traversent des passages (13) de la barrière d'isolation primaire (4) et sont partiellement logées dans les ondulations primaires (14), La cuve comportant en outre un organe de renfort primaire (20) intercalé selon la direction d'épaisseur entre une ondulation secondaire (10) et une ondulation primaire (14) superposées de manière à renforcer ladite ondulation primaire (14).

Cuve étanche et thermiquement isolante

Domaine technique

L'invention se rapporte au domaine des cuves étanches et thermiquement
5 isolantes. En particulier, l'invention se rapporte au domaine des cuves étanches et
thermiquement isolantes pour le stockage et/ou le transport de gaz liquéfié à basse
température, telles que des cuves pour le transport de Gaz de Pétrole Liquéfié (aussi
appelé GPL) présentant par exemple une température comprise entre -50°C et 0°C ,
ou pour le transport de Gaz Naturel Liquéfié (GNL) à environ -162°C à pression
10 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 recevoir du gaz liquéfié servant de carburant pour la propulsion de
l'ouvrage flottant.

Dans un mode de réalisation, le gaz liquéfié est du GNL, à savoir un mélange
15 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'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
20 réalisée selon différentes techniques, notamment sous la forme d'une cuve intégrée
à membrane.

Arrière-plan technologique

25 Une cuve étanche et thermiquement isolante pour le transport de liquide
cryogénique, comme par exemple du GNL, est par exemple installée dans un espace
formé par la coque interne d'un navire à double coque. Une telle cuve présente une
structure multicouche permettant d'assurer à la fois l'isolation et l'étanchéité de la
cuve. La cuve comporte ainsi, de l'extérieur de la cuve vers l'intérieur de la cuve, une
30 barrière isolante secondaire, une membrane étanche secondaire, une barrière

isolante primaire et une membrane étanche primaire destinée à être au contact du liquide cryogénique contenu dans la cuve. Cette structure multicouche permet de s'assurer que même en cas de dégradation de la membrane étanche primaire, la cuve conserve grâce à la barrière isolante secondaire et la membrane étanche secondaire
5 une étanchéité et une isolation suffisante pour que le liquide cryogénique n'endommage pas la structure dans laquelle la cuve est intégrée, typiquement la double-coque du navire.

Dans un système de cuve multi-couches tel que décrit dans le document US2017/0159888 A1, seule la barrière isolante secondaire présente des
10 caractéristiques isolantes suffisantes pour garantir l'isolation de la cuve. Dans une telle cuve, la barrière d'isolation primaire présente principalement une fonction d'écartement entre la membrane étanche secondaire et la membrane étanche primaire plus qu'une fonction d'isolation. Dans une telle cuve, la barrière isolante primaire est par exemple constituée de plaques de contreplaqué présentant une
15 épaisseur limitée.

Par ailleurs, la membrane étanche primaire présente des ondulations. De telles ondulations permettent à la membrane étanche primaire de se déformer sous les contraintes, par exemple lors des changements de température dans la cuve engendrés par le chargement ou le déchargement de liquide cryogénique dans la
20 cuve ou bien encore afin de supporter les déformations de la structure porteuse à la houle.

La barrière isolante primaire ayant des caractéristiques d'isolation limitée, la membrane étanche secondaire et la membrane étanche primaire présentent des températures de fonctionnement proches. Ainsi, même en l'absence de fuites dans
25 la membrane étanche primaire, la membrane étanche secondaire est sujette à des contraintes liées aux changements de température dans la cuve analogues aux contraintes subies par la membrane étanche primaire. En conséquence, la membrane étanche secondaire présente également des ondulations permettant d'absorber les déformations engendrées par les changements de température dans la cuve ou bien
30 encore afin de supporter les déformations de la structure porteuse à la houle.

Les plaques de contreplaqué formant la barrière isolante primaire présentent des passages permettant de loger ces ondulations de la membrane étanche

secondaire. En outre, du fait de l'épaisseur limitée de la barrière isolante primaire, les ondulations de la membrane secondaire et les ondulations de la membrane primaire sont superposées afin de loger, au moins partiellement, les ondulations de la membrane étanche secondaire dans les ondulations de la membrane étanche
5 primaire.

Résumé

Une idée à la base de l'invention est de fournir une cuve étanche et thermiquement isolante présentant de bonnes caractéristiques de résistance aux contraintes. Une idée à la base de l'invention est de fournir une cuve étanche et
10 thermiquement isolante dont la membrane étanche primaire est renforcée. Une idée à la base de l'invention est de fournir une cuve étanche et thermiquement isolante dont les ondulations de la membrane étanche primaire sont renforcées.

Selon un mode de réalisation, l'invention fournit une cuve étanche et thermiquement isolante destinée à être installée dans une structure porteuse, ladite
15 cuve comportant, depuis l'extérieur de la cuve vers l'intérieur de la cuve, une barrière d'isolation secondaire destinée à être ancrée sur la structure porteuse, une membrane d'étanchéité secondaire reposant sur la barrière d'isolation secondaire, une barrière d'isolation primaire reposant sur la membrane d'étanchéité secondaire et une membrane d'étanchéité primaire reposant sur la barrière d'isolation primaire,
20 la membrane d'étanchéité primaire comportant des ondulations primaires faisant saillie vers l'intérieur de la cuve, la membrane d'étanchéité secondaire comportant des ondulations secondaires faisant saillie vers l'intérieur de la cuve, les ondulations primaires et les ondulations secondaires étant superposées selon une direction d'épaisseur,
25 la barrière d'isolation primaire présentant des passages, les ondulations secondaires étant logées dans lesdits passages, la dimension selon la direction d'épaisseur de la barrière d'isolation primaire étant inférieure à la dimension des ondulations secondaires prise selon ladite direction d'épaisseur de sorte que les ondulations secondaires traversent les passages et sont partiellement logées dans les
30 ondulations primaires,

la cuve comportant en outre un organe de renfort primaire intercalé selon la direction d'épaisseur entre une ondulation secondaire et une ondulation primaire superposées de manière à renforcer ladite ondulation primaire.

Grâce à ces caractéristiques, les ondulations primaires sont renforcées par l'organe de renfort primaire, accroissant ainsi la résistance de la membrane étanche primaire aux efforts de pression.

Selon des modes de réalisation, une telle cuve étanche et thermiquement isolante peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes.

Selon un mode de réalisation, les membranes d'étanchéité primaire et secondaire comportent chacune des portions planes situées entre les ondulations et reposent respectivement sur la barrière d'isolation primaire et la barrière d'isolation secondaire.

Selon un mode de réalisation, l'organe de renfort primaire présente une surface d'appui concave dont la concavité est tournée vers l'ondulation secondaire, ladite surface d'appui épousant une face interne de l'ondulation secondaire située en vis-à-vis.

Selon un mode de réalisation, la surface d'appui présente un rayon de courbure identique ou proche du rayon de courbure de la face interne de l'ondulation secondaire.

Selon un mode de réalisation, le rayon de courbure de la surface d'appui est tel que la surface d'appui recouvre partiellement, par exemple au moins 50%, la surface interne de l'ondulation secondaire. Selon un mode de réalisation, la surface d'appui recouvre notamment la portion de l'ondulation secondaire qui fait saillie dans l'ondulation primaire.

Selon un mode de réalisation, la surface d'appui est en appui sur un sommet de l'ondulation secondaire.

Selon un mode de réalisation, un jeu sépare l'organe de renfort primaire et une base de l'ondulation secondaire, ladite base de l'ondulation secondaire étant jointive de portions planes de la membrane étanche secondaire. Un tel jeu permet

une déformation de la base de l'ondulation secondaire, par exemple en présence de forces de traction sur ladite ondulation secondaire issues de la contraction thermique ou de l'élongation de la poutre navire ou pour les tolérances de montage.

5 Selon un mode de réalisation, le rayon de courbure de la surface d'appui est identique au rayon de courbure de la surface interne de l'ondulation secondaire de sorte que la surface d'appui recouvre entièrement la face interne de l'ondulation secondaire.

Grâce à ces caractéristiques, l'organe de renfort primaire coopère de façon stable et fiable avec l'ondulation secondaire afin d'offrir un renforcement efficace de 10 l'ondulation primaire.

Selon un mode de réalisation, l'organe de renfort primaire présente une surface de renfort convexe dont la convexité est tournée vers l'ondulation primaire et présentant un rayon de courbure épousant le rayon de courbure d'une face externe de l'ondulation primaire.

15 Selon un mode de réalisation un jeu sépare la surface de renfort de la face externe de l'ondulation primaire à température ambiante.

Selon un mode de réalisation, le rayon de courbure de la surface de renfort est identique au rayon de courbure de la face externe de l'ondulation primaire sur une portion de ladite face externe au droit d'un sommet de l'ondulation primaire. Selon un 20 mode de réalisation, ladite portion de la face externe de l'ondulation primaire est délimitée de part et d'autre du sommet de l'ondulation primaire par des points d'inflexion de ladite face externe.

Grâce à ces caractéristiques, l'organe de renfort primaire assure un renforcement uniforme, fiable et efficace de l'ondulation primaire.

25 Selon un mode de réalisation, l'ondulation primaire et l'ondulation secondaire sont superposées selon la direction d'épaisseur de sorte qu'un sommet de l'ondulation secondaire soit agencé au droit d'un sommet de l'ondulation primaire.

Selon un mode de réalisation, l'épaisseur de l'organe de renfort primaire s'amenuise en direction des extrémités latérales dudit organe de renfort primaire

Selon un mode de réalisation, la surface de renfort et la surface d'appui sont jointives au niveau desdites extrémités latérales de l'organe de renfort primaire. Selon un mode de réalisation, les extrémités de la surface de renfort et de la surface d'appui sont reliées par une surface de jonction de l'organe de renfort primaire.

- 5 Selon un mode de réalisation, l'organe de renfort primaire est creux. Selon un mode de réalisation, l'organe de renfort primaire creux comporte des voiles de renfort intérieurs.

Un tel organe de renfort primaire présente une résistance structurelle importante permettant un renforcement fiable et efficace de l'ondulation primaire. En
10 outre, un tel organe de renfort creux permet la circulation de gaz entre l'ondulation primaire et l'ondulation secondaire, par exemple un gaz inerte tel que de l'azote.

Selon un mode de réalisation, les voiles de renfort se développent perpendiculairement à la face interne de l'ondulation secondaire. Selon un mode de
15 réalisation, les voiles de renfort se développent perpendiculairement à la face externe de l'ondulation primaire.

Selon un mode de réalisation, la cuve comporte en outre un dispositif de maintien agencé pour exercer sur l'organe de renfort primaire un appui en direction de l'ondulation secondaire de manière à maintenir ledit organe de renfort primaire en appui contre ladite ondulation secondaire.

- 20 Selon un mode de réalisation, le dispositif de maintien comporte un organe souple ancré sur la barrière d'isolation primaire et lié à l'organe de renfort primaire de manière à exercer la force d'appui en direction de l'ondulation secondaire sur ledit organe de renfort primaire.

25 Selon un mode de réalisation, le dispositif de maintien comporte une bande souple présentant première extrémité ancrée sur la barrière d'isolation primaire d'un côté de l'organe de renfort primaire, une deuxième extrémité ancrée sur la barrière d'isolation primaire de l'autre côté de l'organe de renfort primaire, et une portion centrale intercalée entre l'organe de renfort primaire et l'ondulation primaire.

Selon un mode de réalisation, la bande souple est ancrée à la barrière d'isolation primaire par des attaches, par exemple des agrafes, des vis, des clous ou autres.

5 Selon un mode de réalisation, l'organe souple est élastique. Selon un mode de réalisation, le dispositif de maintien comporte une lame élastique. Selon un mode de réalisation, les extrémités de la lame élastique forment des pattes maintenues élastiquement contre la barrière d'isolation primaire de part et d'autre de l'ondulation secondaire.

10 Selon un mode de réalisation, la lame élastique est ancrée à la barrière d'isolation primaire par friction.

Selon un mode de réalisation, l'organe de renfort primaire comporte une paire de pattes faisant saillie latéralement des extrémités de l'organe de renfort primaire, lesdites pattes étant logées dans des lamages respectifs de la barrière d'isolation primaire de manière à bloquer l'organe de renfort primaire en déplacement
15 selon la direction d'épaisseur de la cuve.

Grâce à ces caractéristiques, l'organe de renfort primaire est maintenu en position par la barrière d'isolation primaire. Ainsi, l'organe de renfort est stable et renforce l'ondulation primaire de façon fiable.

20 Selon un mode de réalisation, la barrière d'isolation primaire comporte une pluralité de panneaux intercalés entre des portions planes de la membrane étanche primaire et de la membrane étanche secondaire. Selon un mode de réalisation, ces panneaux sont en bois par exemple en bois contreplaqué.

25 Selon un mode de réalisation, les lamages sont réalisés sur une face externe de la barrière d'isolation primaire reposant contre la membrane d'étanchéité secondaire de sorte que les pattes de l'organe de renfort primaire soient intercalées, selon la direction d'épaisseur, entre la barrière d'isolation primaire et la membrane d'étanchéité secondaire.

Selon un mode de réalisation, la cuve comporte en outre un organe de renfort secondaire intercalé selon la direction d'épaisseur de la cuve entre une

ondulation secondaire et la barrière d'isolation secondaire de manière à renforcer ladite ondulation secondaire.

Selon un mode de réalisation, l'organe de renfort secondaire présente une forme externe épousant la forme interne d'une portion de l'ondulation secondaire qui
5 fait saillie dans l'ondulation primaire.

Ainsi, l'organe de renfort secondaire renforce la portion saillante de l'ondulation secondaire de façon complète et uniforme.

Selon un mode de réalisation, l'organe de renfort secondaire est creux de manière à permettre une circulation de gaz, par exemple de gaz inerte, sous
10 l'ondulation secondaire. Selon un mode de réalisation, l'organe de renfort secondaire comporte des voiles internes, de tels voiles internes renforçant structurellement ledit organe de renfort secondaire.

Grâce à ces caractéristiques, l'ondulation secondaire est également renforcée. En outre, l'ondulation secondaire ainsi renforcée sert d'appui à l'organe de
15 renfort primaire de sorte que l'organe de renfort primaire assure un meilleur renforcement de l'ondulation primaire.

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
20 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.

Selon un mode de réalisation, un navire pour le transport d'un produit liquide froid comporte une double coque et une cuve précitée disposée dans la double coque.

25 Selon un mode de réalisation, l'invention fournit aussi un procédé de chargement ou déchargement d'un tel navire, dans lequel on achemine un produit liquide froid à travers des canalisations isolées depuis ou vers une installation de stockage flottante ou terrestre vers ou depuis la cuve du navire.

Selon un mode de réalisation, l'invention fournit aussi un système de
30 transfert pour un produit liquide froid, 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 produit liquide froid à travers les canalisations isolées depuis ou vers l'installation de stockage flottante ou terrestre vers ou depuis la cuve du navire.

5 Certains aspects de l'invention partent de l'idée de renforcer les ondulations primaires d'une cuve étanche et thermiquement isolante dans laquelle les ondulations de la membrane étanche primaire et les ondulations de la membrane étanche secondaire sont superposées. Certains aspects de l'invention partent de l'idée de renforcer une ondulation primaire dont l'espace interne est au moins partiellement
10 occupé par une ondulation secondaire. Certains aspects de l'invention partent de l'idée de renforcer une ondulation primaire en vis-à-vis d'une surface courbe formée par une ondulation secondaire.

Brève description des figures

15 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.

- 20 • La figure 1 est une vue en coupe partielle d'une cuve étanche et thermiquement isolante ;
- la figure 2 est une vue en coupe de détail d'une cuve étanche et thermiquement isolante telle qu'illustrée sur la figure 1 comportant en outre un organe de renfort primaire selon un premier mode de réalisation ;
- 25 • la figure 3 est vue en coupe de détail d'une cuve étanche et thermiquement isolante telle qu'illustrée sur la figure 1 comportant en outre un organe de renfort primaire selon une première variante du premier mode de réalisation ;
- 30 • la figure 4 est vue en coupe de détail d'une cuve étanche et thermiquement isolante telle qu'illustrée sur la figure 1 comportant en

outre un organe de renfort primaire selon une deuxième variante du premier mode de réalisation ;

- 5 • la figure 5 est une vue en coupe de détail d'une cuve étanche et thermiquement isolante telle qu'illustrée sur la figure 1 comportant en outre un organe de renfort primaire selon un deuxième mode de réalisation ;
- La figure 6 est une représentation schématique écorchée d'une cuve de navire méthanier et d'un terminal de chargement/déchargement de cette cuve.

10

Description détaillée de modes de réalisation

Dans la description ci-dessous, on fait référence à une cuve étanche et thermiquement isolante comportant un espace interne destiné à être rempli de gaz combustible ou non combustible. Le gaz peut notamment être un gaz naturel liquéfié
15 (GNL), c'est-à-dire un mélange gazeux comportant majoritairement du méthane ainsi qu'un ou plusieurs autres hydrocarbures, tels que l'éthane, le propane, le n-butane, le i-butane, le n-pentane le i-pentane, le néopentane, et de l'azote en faible proportion. Le gaz peut également être de l'éthane ou un gaz de pétrole liquéfié (GPL), c'est-à-dire un mélange d'hydrocarbures issu du raffinage du pétrole comportant
20 essentiellement du propane et du butane.

Une telle cuve étanche et thermiquement isolante est intégrée dans une structure porteuse 1 telle que, par exemple, la double coque d'un navire de transport du GNL. Cette structure porteuse 1 définit une pluralité de parois porteuses délimitant conjointement un espace interne de la double coque destiné à recevoir la cuve
25 étanche et thermiquement isolante. La cuve étanche et thermiquement isolante comporte une pluralité de parois de cuve portées chacune par une paroi porteuse respective de la structure porteuse 1. Chaque paroi de cuve présente une structure multicouche comportant, depuis la paroi porteuse correspondante jusqu'à l'intérieur de la cuve, une barrière thermiquement isolante secondaire 2, une membrane étanche secondaire 3, une barrière thermiquement isolante primaire 4 et une
30 membrane étanche primaire 5 délimitant l'intérieur de la cuve et destinée à être au

contact du liquide contenu dans la cuve. La figure 1 illustre partiellement une paroi de cuve étanche et thermiquement isolante selon cette structure multicouche.

La barrière thermiquement isolante secondaire 2 comporte une garniture isolante 6 prise en sandwich entre une plaque de fond 7 et une plaque de couvercle 8. La garniture isolante 6 est par exemple une mousse de polyuréthane renforcée par des fibres ou non renforcée. La plaque de fond 7 et la plaque de couvercle 8 sont des plaques rigides, par exemple des plaques de contreplaqué.

La barrière thermiquement isolante secondaire 2 peut être réalisée de nombreuses manières, par exemple au moyen de panneaux isolants de forme parallélépipédique juxtaposés selon un motif régulier sur une paroi porteuse correspondante de la structure porteuse 1. Ces panneaux isolants sont ancrés sur la structure porteuse 1 au moyen d'organes d'ancrage (non illustrés). Des cordons de mastic 9 sont intercalés entre la plaque de fond 7 et la structure porteuse 1 afin de rattraper les défauts de planéité de la structure porteuse 1. La barrière thermiquement isolante secondaire 2 forme ainsi une surface de support plane sur laquelle repose la membrane étanche secondaire 3.

La membrane étanche secondaire 3 comporte une pluralité de plaques métalliques ondulées. Ces plaques métalliques sont soudées entre elles pour former la membrane étanche secondaire 3. Cette membrane étanche secondaire 3 peut être ancrée sur la structure porteuse de nombreuses manières. Ainsi, la membrane étanche secondaire 3 peut être ancrée sur la structure porteuse de façon indirecte en étant ancrée sur la barrière thermiquement isolante secondaire 2 ou de façon directe en étant ancrée sur des organes d'ancrage (non illustrés) traversant la barrière thermiquement isolante secondaire 2.

La membrane étanche secondaire 3 comporte des ondulations 10, ci-après ondulations secondaires 10, faisant saillie vers l'intérieur de la cuve. Ces ondulations secondaires 10 permettent d'absorber les déformations de la membrane étanche secondaire 3, par exemple liées aux changements de température dans la cuve, ou à la déformation de la poutre du navire. La membrane étanche secondaire 3 comporte une première série d'ondulations secondaires 10 parallèles entre elles et se développant parallèlement à une première direction, par exemple une direction longitudinale du navire. La membrane étanche secondaire 3 comporte une deuxième

série d'ondulations secondaires 10 parallèles entre elles et se développant parallèlement à une deuxième direction, par exemple une direction transversale du navire. La membrane étanche secondaire 3 comporte des portions planes 11, ci-après portions planes secondaires 11, intercalées entre des ondulations secondaires 10 adjacentes.

La barrière thermiquement isolante primaire 4 présente une épaisseur réduite par rapport à la barrière thermiquement isolante secondaire 2. La barrière thermiquement isolante primaire 4 comporte une pluralité de plaques rigides 12 reposant sur la membrane étanche secondaire 3. Plus particulièrement, comme illustré sur la figure 1, les plaques rigides 12 de la barrière thermiquement isolante primaire 4 reposent sur les portions planes 11 de la membrane étanche secondaire 3. La barrière thermiquement isolante primaire 4 comporte une pluralité de passages 13 dans lesquels sont logés les ondulations secondaires 10. Ces passages 13 sont par exemple délimités par des flancs 32 des plaques rigides 12 situées de part et d'autre des ondulations secondaires 10.

Les plaques rigides 12 présentent une épaisseur, prise selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve correspondante, inférieure à la hauteur des ondulations secondaires 10, prise selon ladite direction d'épaisseur. Ainsi, les ondulations secondaires 10 traversent les passages 13 de la barrière thermiquement isolante primaire 4 et font saillie vers l'intérieur de la cuve au-delà de la barrière thermiquement isolante primaire 4. A titre d'exemple, l'épaisseur des plaques rigides 12 est comprise entre 9 et 36 mm, de préférence entre 12 et 24 mm.

Les plaques rigides 12 de la barrière thermiquement isolante primaire 4 forment une surface de support plane primaire sur laquelle repose la membrane étanche primaire 5. De façon analogue à la membrane étanche secondaire 3, la membrane étanche primaire 5 comporte une pluralité de plaques métalliques ondulées reliées entre elles de manière étanche, par exemple par soudure. De même, cette membrane étanche primaire 5 peut être ancrée à la structure porteuse 1 de manière indirecte, en étant ancrée à la barrière thermiquement isolante primaire 4, ou de manière directe, en étant ancrée à la structure porteuse via un organe d'ancrage, ledit organe d'ancrage pouvant être commun à l'ancrage de la membrane étanche secondaire 3 et de la membrane étanche primaire 5.

La membrane étanche primaire 5 comporte des ondulations 14, ci-après ondulations primaires 14, pour absorber les déformations de la membrane étanche primaire 5. De façon analogue à la membrane étanche secondaire 3, la membrane étanche primaire 5 comporte une première série d'ondulations primaires 14 parallèles 5 entre elles et une deuxième série d'ondulations primaires 14 parallèles entre elles. La membrane étanche primaire comporte en outre des portions planes 15, ci-après portions planes primaires 15, intercalées entre les ondulations primaires 14.

La figure 1 illustre une vue en coupe de la paroi de cuve, de sorte que seule des ondulations secondaires 10 de la première série d'ondulations secondaires 10 et 10 des ondulations primaires 14 de la première série d'ondulations primaires sont représentées en coupe. Cependant, la description ci-dessous s'applique par analogie à l'ensemble des ondulations secondaires 10 et des ondulations primaires 14 des membranes étanches primaires 5 et secondaires 3.

Les ondulations primaires 14 sont disposées au droit des ondulations 15 secondaires 10. Ainsi, les portions des ondulations secondaires 10 faisant saillie de la barrière thermiquement isolante primaire 4 sont logées dans les ondulations primaires 14 avec lesquelles elles sont superposées. Plus particulièrement, les ondulations secondaires 10 présentent une surface interne 16 en vis-à-vis d'une surface externe 17 des ondulations primaires 14 correspondantes. Les ondulations 20 primaires 14 et secondaires 10 faisant saillie vers l'intérieur de la cuve, la surface interne 16 de l'ondulation secondaire 10 présente une forme convexe et la surface externe 17 de l'ondulation primaire 14 présente une forme concave. Les ondulations secondaires 10 sont centrées dans les ondulations primaires 14 de sorte qu'un sommet 18 des ondulations secondaires 10 est situé au droit d'un sommet 19 des 25 ondulations primaires 14. Ainsi, les ondulations primaires 14 et les ondulations secondaires 10 sont symétriques par rapport à un plan passant par les sommets 18 et 19 et se développant parallèlement à la direction longitudinale desdites ondulations 10, 14.

Cette superposition des ondulations primaires 14 et des ondulations 30 secondaires 10 permet de positionner les portions planes primaires 15 au droit des portions planes secondaires 11. Ainsi, les portions planes primaires 15 peuvent

reposer sur la barrière thermiquement isolante primaire 4 formée par les plaques rigides 12 agencée sur les portions planes secondaires 11.

Les plaques métalliques formant les membranes étanches primaire 5 et secondaire 3 peuvent notamment être réalisées en acier inoxydable, en aluminium, 5 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 $7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Toutefois, d'autres métaux ou alliages sont également possibles.

A titre d'exemple, les plaques métalliques peuvent présenter une épaisseur 10 comprise entre 1mm et 1.6 mm. D'autres épaisseurs sont également envisageables, sachant qu'un épaississement de la tôle métallique entraîne une augmentation de son coût et accroît généralement la rigidité des ondulations 10, 14.

D'autres détails et caractéristiques possibles des membranes étanches, des plaques métalliques formant lesdites membranes étanches, de l'ancrage des 15 barrières thermiquement isolantes ou des membranes étanches sont décrits dans le document US2017/0159888 ou WO2016021948. A titre d'exemple, les plaques métalliques assemblées pour former les membranes étanches 3, 5 peuvent être mises en forme par emboutissage ou pliage.

Les ondulations 10, 14 permettent aux membranes étanches 3, 5 d'être 20 flexibles afin de pouvoir se déformer sous l'effet des sollicitations thermiques et mécaniques générées par le GNL dans la cuve. En effet, le chargement d'un fluide cryogénique tel que le GNL dans la cuve entraîne un changement de température important générant des contraintes de contraction thermique importantes dans la membrane étanche primaire 5. Ces contraintes thermiques sont également présentes 25 au niveau de la membrane étanche secondaire 3, la barrière d'isolation thermique primaire 4 présentant une épaisseur ne permettant pas d'atténuer ces contraintes thermiques. En outre, les mouvements de liquide dans la cuve, en particulier dans le cas d'un navire naviguant en mer, peuvent engendrer des contraintes importantes sur la membrane étanche primaire 5, en particulier au niveau des ondulations primaire 14 30 qui font saillie à l'intérieur de la cuve. Un autre facteur de déformation des membranes

étanches 3, 5 est l'élongation de la poutre d'un navire en réponse aux mouvements du navire sur la houle.

La figure 2 illustre une portion de cuve étanche et thermiquement isolante telle que décrite ci-dessus comportant en outre un organe de renfort primaire 20 selon un premier mode de réalisation. Un tel organe de renfort primaire 20 permet de renforcer la membrane étanche primaire 5, et en particulier les ondulations primaires 14, au regard des différentes sollicitations subies par ladite membrane étanche primaire 5. Cette figure 2 illustre la paroi de cuve et l'organe de renfort primaire 20 au niveau d'une seule ondulations primaires 14 et d'une seule ondulation secondaire 10, la description ci-dessous pouvant s'appliquer pour une, plusieurs ou l'ensemble des ondulations primaires 14 et secondaires 10 de la cuve.

Comme illustré sur la figure 2, l'organe de renfort primaire 20 est intercalé entre la membrane étanche primaire 5 et la membrane étanche secondaire 3. Plus particulièrement, l'ondulation primaire 14 et l'ondulation secondaire 10 étant superposées, l'organe de renfort primaire 20 est intercalé entre la face interne 16 de l'ondulation secondaire 10 et la face externe 17 de l'ondulation primaire 14.

L'organe de renfort primaire 20 présente une surface d'appui 21 et une surface de renfort 22. De façon analogue aux ondulations primaires 14 et secondaires 10, l'organe de renfort primaire 20 est symétrique par rapport au plan passant par les sommets 18, 19 des ondulations 10, 14 et se développant parallèlement à la direction longitudinale des ondulations 10, 14. De même, les surfaces d'appui 21 et de renfort 22 sont symétriques par rapport audit plan.

La surface d'appui 21 est tournée vers la face interne 16 de l'ondulation secondaire 10. Cette surface d'appui 21 présente une forme concave dont la concavité est tournée vers la face interne 16 de l'ondulation secondaire 10. Ainsi, la surface d'appui 21 présente une forme complémentaire à la forme de la face interne 16 de l'ondulation secondaire 10.

De préférence, la surface d'appui 21 recouvre avec contact la face interne 16 de l'ondulation secondaire 10 sur au moins 50% de ladite face interne 16. Pour cela, le rayon de courbure de la surface d'appui 21 est proche du rayon de courbure de la face interne 16 de l'ondulation secondaire 10. Plus particulièrement, la surface

d'appui 21 présente une portion centrale comportant le milieu de ladite surface d'appui 21. Cette portion centrale de la surface d'appui 21 présente un rayon de courbure identique au rayon de courbure d'une portion centrale de la face interne 16 de l'ondulation secondaire 10. Autrement dit, la portion centrale de la surface d'appui 5 21 recouvre et est en contact avec la portion centrale de la face interne 16 de l'ondulation secondaire 10.

La portion centrale de la face interne 16 de l'ondulation secondaire 10 comporte le sommet 18 de l'ondulation secondaire 10 et se développe de part et d'autre dudit sommet 18 de façon symétrique par rapport au plan de symétrie de 10 l'ondulation secondaire 10. De même, la portion centrale de la surface d'appui 21 est symétrique par rapport au plan de symétrie de l'ondulation secondaire 10.

Dans le mode de réalisation illustré sur la figure 2, la portion centrale de la face interne 16 de l'ondulation secondaire 10 est délimitée de part et d'autre du sommet 18 par les points d'inflexion formés par ladite face interne 16 de l'ondulation 15 secondaire 10. Ainsi, la surface d'appui 21 recouvre la face interne 16 de l'ondulation secondaire 10 depuis un premier point d'inflexion situé d'un côté du sommet 18 de l'ondulation secondaire 10 jusqu'au point d'inflexion situé de l'autre côté de l'ondulation secondaire 10 par rapport audit sommet 18.

La coopération entre la surface d'appui 21 et la face interne 16 de 20 l'ondulation secondaire 10 permet de maintenir en position l'organe de renfort primaire 20 sur l'ondulation secondaire 10 en vis-à-vis de la face externe 17 de l'ondulation primaire 14. En outre, cette coopération permet d'offrir à l'organe de renfort primaire 20 un appui afin que ledit organe de renfort primaire 20 puisse renforcer l'ondulation primaire 14, comme expliqué ci-dessous.

25 La surface de renfort 22 est tournée vers la face externe 17 de l'ondulation primaire 14. De façon analogue à la complémentarité de forme entre la face interne 16 de l'ondulation secondaire 10 et la surface d'appui 21, la surface de renfort 22 présente une forme complémentaire à la forme de la face externe 17 de l'ondulation primaire 14. Ainsi, la surface de renfort 22 présente une convexité tournée vers la 30 face externe 17 de l'ondulation primaire 14. Par ailleurs, la surface de renfort 22 présente une portion centrale dont le rayon de courbure est identique au rayon de courbure de la portion centrale de la face externe 17 de l'ondulation primaire 14.

Lesdites portions centrales sont symétriques par rapport au plan de symétrie de l'ondulation primaire 14. La portion centrale de la face externe 17 comporte un point de ladite face externe 17 situé au droit du sommet 19 de l'ondulation primaire 14 et est délimité, de part et d'autre dudit sommet 19, par les points d'inflexion de la face externe 17 de l'ondulation primaire 14.

Afin de faciliter le montage de la membrane étanche primaire 5 dans la cuve, un jeu séparant la surface de renfort 22 et la face externe 17 de l'ondulation primaire 14 peut être prévu. Un tel jeu permet de s'accommoder des tolérances d'assemblage et de montage de la membrane étanche primaire 5.

L'épaisseur de l'organe de renfort primaire 20 à un endroit dudit organe de renfort primaire 20 se définit comme la distance minimale séparant la surface d'appui 21 et la surface de renfort 22 audit endroit. L'organe de renfort primaire 20 présente une épaisseur maximale en son milieu, c'est-à-dire au niveau de son plan de symétrie. L'épaisseur de l'organe de renfort primaire 20 s'amenuise depuis le milieu de l'organe de renfort primaire 20 vers ses extrémités 23. Les extrémités 23 comportent une surface plane 24 reliant la surface de renfort 22 et la surface d'appui 21.

Sur la figure 2, la surface plane 24 est distante, selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve, des portions planes 11 de la membrane étanche secondaire 3. Ainsi, une base de l'ondulation secondaire 10, c'est-à-dire les portions de l'ondulation secondaire 10 situées de part et d'autre de la portion centrale de ladite ondulation secondaire 10, n'est pas recouverte par l'organe de renfort primaire 20.

L'absence de recouvrement de la base de l'ondulation secondaire 10 par l'organe de renfort primaire 20 permet à ladite base de l'ondulation secondaire 10 de se déformer en réponse à des sollicitations telles qu'un effort de traction lié à la contraction thermique ou à la déformation de la poutre du navire. Autrement dit, l'ondulation secondaire peut se déformer pour absorber les déformations de la membrane d'étanchéité secondaire 3 sans que cette déformation ne soit entravée par l'organe de renfort primaire 20.

Dans un mode de réalisation non illustré, cette déformation est possible du fait de la différence de rayon de courbure entre la surface d'appui 21 et la face interne

16 de l'ondulation secondaire 10, un jeu séparant la base de l'ondulation secondaire 10 et la surface d'appui 21 pour permettre la déformation sans entrave de l'ondulation secondaire 10

Un tel jeu séparant la surface d'appui 21 et la face interne 16 de l'ondulation
5 secondaire 10 est dimensionné en fonction de plusieurs paramètres. Ce jeu est dimensionné en fonction des tolérances de fabrication et de montage de l'organe de renfort primaire 20 et de l'ondulation secondaire 10. Ce jeu est également dimensionné en fonction du comportement en contraction thermique de l'organe de renfort primaire 20 ainsi que du comportement en déformation de l'ondulation
10 secondaire 10. Le comportement en déformation de l'ondulation secondaire 10 est déterminé en fonction du comportement en contraction thermique de l'ondulation secondaire 10 et du comportement de ladite ondulation secondaire 10 sous l'effet des contraintes pouvant survenir dans la cuve. Typiquement, ce jeu est préférentiellement dimensionné pour répondre à l'équation suivante :

15
$$\text{Jeu} > \text{tol} + \text{CT}_{\text{renf}} - \text{OuV}_{\text{ondsec}}$$

dans laquelle tol représente les tolérances de fabrication et de montage de l'organe de renfort primaire 20 et de l'ondulation secondaire 10, CT_{renf} représente la variation de dimension de l'organe de renfort primaire 20 sous l'effet de la contraction thermique, par exemple entre un état de l'ondulation secondaire 10 dans une cuve à
20 température ambiante et un état de l'ondulation secondaire 10 lorsque la cuve est remplie de GNL, et $\text{OuV}_{\text{ondsec}}$ représente la variation de dimension de l'ondulation secondaire 10 résultant de la contraction thermique et des contraintes dans la cuve. Un tel jeu permet une liberté de déformation de l'ondulation secondaire 10 par rapport à l'organe de renfort primaire 20, l'ondulation secondaire 10 pouvant se déformer
25 sans être contrainte par la surface d'appui 21 de l'organe de renfort primaire 20.

Dans ce premier mode de réalisation, l'organe de renfort primaire 20 est plein. Lors d'une déformation de l'ondulation primaire 14, la surface de renfort 22 de l'organe de renfort primaire 20 supporte l'ondulation primaire 14 et limite ainsi sa déformation ainsi que les dégradations pouvant résulter de ladite déformation. En
30 outre, la complémentarité de forme entre la surface de renfort 22 et la face externe 17 de l'ondulation primaire 14 permet ce renforcement de l'ondulation primaire 14 de façon uniforme.

Dans ce premier mode de réalisation, un organe de renfort secondaire 25 est logé sous l'ondulation secondaire 10. Ce renfort d'onde secondaire 25 présente une paroi externe 26 plane reposant sur la barrière thermiquement isolante secondaire 2. Cet organe de renfort secondaire 25 présente en outre une enveloppe 5 27 se développant au-dessus de la paroi externe 26. Cette enveloppe 27 épouse la forme d'une face externe 28 de l'ondulation secondaire 10. La face externe 28 de l'ondulation secondaire 10 est en contact avec l'organe de renfort secondaire 25. De façon analogue à sa coopération avec l'organe de renfort primaire 20, la face externe 28 de l'ondulation secondaire 10 présente une portion centrale qui coopère avec 10 l'organe de renfort secondaire 25, ladite portion centrale comportant un point de la face externe 28 de l'ondulation secondaire 10 situé au droit du sommet 18 et étant délimité de part et d'autre dudit sommet par les points d'inflexion de ladite face externe 28.

L'organe de renfort secondaire 25 est creux. Ainsi, il permet la circulation de 15 gaz dans la barrière thermiquement isolante secondaire 2, comme par exemple un gaz inerte tel que de l'azote. Par ailleurs, l'organe de renfort secondaire 25 comporte des voiles internes 29 permettant de renforcer ledit organe de renfort secondaire 25.

Lors d'une déformation de l'ondulation primaire 14, l'organe de renfort primaire 20 est supporté par la coopération entre la surface d'appui 21 et l'ondulation 20 secondaire 10. La face interne 16 de l'ondulation secondaire 10 renforcée par l'organe de renfort secondaire 25 forme une surface d'appui solide et fiable pour l'organe de renfort primaire 20, permettant audit organe de renfort primaire 20 de renforcer l'ondulation primaire 14 de façon fiable.

Dans la description des figures 3 à 5 ci-dessous, les éléments identiques ou 25 remplissant la même fonction que des éléments décrits ci-dessus en regard des figures 1 et 2 portent la même référence.

La figure 3 illustre une première variante de réalisation de l'organe de renfort primaire 20. Certains éléments illustrés sur la figure 3 sont volontairement représentés avec des écarts, étant entendu que les écarts ne sont présents que pour 30 permettre une meilleure lisibilité de la figure 3.

Dans cette première variante, un organe de maintien 30 coopère avec l'organe de renfort primaire 20 afin d'assurer son maintien en position sur l'ondulation secondaire 10. L'organe de maintien 30 comporte une bande souple 31. Les extrémités de cette bande souple 31 sont ancrées sur la barrière thermiquement isolante primaire 4 de part et d'autre de l'ondulation secondaire 10. Plus particulièrement, les extrémités de la bande souple 31 sont ancrées sur des flancs 32 des plaques rigides 12 de la barrière thermiquement isolante primaire 4, lesdits flancs 32 délimitant les passages 13 dans lesquels sont logés les ondulations secondaire 10.

10 Ces extrémités de la bande souple 31 peuvent être ancrées sur la barrière thermiquement isolante primaire 4 de nombreuses manières, par exemple au moyen d'agrafes 45, de vis, de clous, ou de tout autre moyen adapté.

La bande souple 31 est intercalée entre la face externe 17 de l'ondulation primaire 14 et la surface de renfort 22. La bande souple 31 recouvre la surface de renfort 22 de l'organe de renfort primaire 20. Cette bande souple 31 est précontrainte de manière à exercer sur l'organe de renfort primaire 20 un appui en direction de l'ondulation secondaire 10. La complémentarité de forme entre la surface d'appui 21 et la face interne 16 de l'ondulation secondaire 10 permet de garantir le bon positionnement de l'organe de renfort primaire 20 sur l'ondulation secondaire 10 sous l'effet de cet appui exercé par la bande souple 31.

Une telle bande souple 31 peut être réalisée en de nombreux matériaux.

Dans un mode de réalisation préférentiel, cette bande souple 31 est fabriquée en tissu, par exemple en textile du type coton, à partir de fibres de fibres minérales, par exemple en fibre de verre, ou en fibres synthétiques (PA, PE, PEI,...).

25 Une telle bande souple 31 en tissu est mise en tension lors de l'ancrage de ses extrémités sur la barrière thermiquement isolante primaire 4, permettant ainsi l'appui de l'organe de renfort primaire 20 sur l'ondulation secondaire 10.

Dans un mode de réalisation, la bande souple 31 est réalisée en matériau élastique comme par exemple en caoutchouc ou tout autre matériau.

30 La figure 4 illustre une deuxième variante de réalisation du premier mode de réalisation de l'organe de renfort primaire 20. Cette deuxième variante diffère de la

première variante illustrée sur la figure 3 en ce que la bande souple 31 est une bande métallique 33 dont les extrémités forment des pattes élastiques 34.

La bande métallique 33 comporte une portion centrale 35 épousant la forme de la surface de renfort 22 de l'organe de renfort primaire 20. Les pattes élastiques 5 34 font saillie latéralement des extrémités de la portion centrale 35 en direction des flancs 32 des plaques rigides 12 de la barrière thermiquement isolante primaire 4. Ces pattes élastiques 34 présentent une forme en coupe de « S » de manière à comporter une portion de jonction 36 avec la portion centrale 35, ladite portion de jonction 36 prolongeant l'extrémité de la portion centrale correspondante, une portion 10 d'éloignement 37 se développant depuis la portion de jonction 36 en direction des flancs 32 et une portion d'appui 38 se développant depuis la portion d'éloignement 37 et agencée en appui élastiquement contre les flancs 32.

Ces pattes élastiques 34 sont agencées de manière à être en appui sur les flancs 32 et conserver la bande métallique 33 en position en appui sur l'ondulation 15 secondaire 10. Ainsi, la bande métallique 33 maintient en position l'organe de renfort primaire 20 sur la face interne 16 de l'ondulation secondaire 10 par appui et friction des pattes élastiques 34 sur les flancs 32 délimitant le passage 13.

Dans une variante de réalisation non représenté, les pattes élastiques 34 sont agencées pour être en appui dans un lamage de la barrière thermiquement 20 isolante primaire 4. Un tel lamage peut être réalisé sur une face interne de la plaque rigide 12, ladite face interne de la plaque rigide 12 étant tournée vers la membrane étanche primaire 5. Ce lamage peut également être réalisé sur une face externe de la plaque rigide 12, ladite face externe étant tournée vers la membrane étanche secondaire 3.

25 La figure 5 illustre un deuxième mode de réalisation de l'organe de renfort primaire 20. Ce deuxième mode de réalisation de l'organe de renfort primaire 20 diffère du premier mode de réalisation illustré ci-dessus en regard des figures 2 à 4 en ce que les extrémités 23 de l'organe de renfort primaire 20 forment des pattes 39 planes. Par ailleurs, la surface d'appui 21 de l'organe de renfort primaire 20 épouse 30 l'ensemble de la face interne 16 de l'ondulation secondaire 12 de sorte que les pattes 39 planes recouvrent partiellement une portion plane 11 de la membrane étanche secondaire 3. Autrement dit, l'organe de renfort primaire 20 présente une surface

d'appui 21 dont le rayon de courbure est identique au rayon de courbure de la face interne 16 de l'ondulation secondaire 10 et se développe de part et d'autre de l'ondulation secondaire 10 en reposant sur la membrane étanche secondaire 3 de part et d'autre de l'ondulation secondaire 10.

5 Dans ce deuxième mode de réalisation, la barrière thermiquement isolante primaire 4 comporte un lamage 40. Ce lamage 40 est formé sur une face inférieure 41 de la barrière thermiquement isolante primaire 4 de manière à ménager un espace entre ladite barrière thermiquement isolante primaire 4 et la membrane étanche secondaire 3. Les pattes 39 planes de l'organe de renfort primaire 20 sont logées
10 dans ce lamage 41 de sorte que lesdites pattes 39 soient intercalées entre la barrière thermiquement isolante primaire 4 et la membrane étanche secondaire 3. Ainsi, l'organe de renfort primaire 20 est maintenu en position par butée sur le fond du lamage 40 de la barrière thermiquement isolante primaire 4 et en appui sur une portion plane 11 de la membrane étanche secondaire 3, et donc indirectement en
15 appui sur la barrière thermiquement isolante secondaire 2.

Dans le cadre d'une barrière thermiquement isolante primaire 4 constituée de plaques rigide 12 en contreplaqué, le lamage 40 est par exemple réalisé sur la face externe de ces plaques rigides 12, c'est-à-dire sur la face reposant sur les portions planes 11 de la membrane étanche secondaire 3.

20 Cet appui indirect de l'organe de renfort primaire 20 sur la barrière thermiquement isolante secondaire 2 permet le maintien en position de l'organe de renfort primaire 20. En particulier, lors d'une déformation de l'ondulation primaire 14, l'appui de l'organe de renfort primaire 20 sur la membrane étanche secondaire 3 et sur la barrière thermiquement isolante secondaire 2 permet à l'organe de renfort
25 primaire 20 de remplir la fonction de renforcement de l'ondulation primaire 14 sans sollicitation de l'ondulation secondaire 10. Autrement dit, l'appui de l'organe de renfort primaire 20 dans ce second mode de réalisation est assuré par les pattes 39 reposant sur la portion plane 11 de la membrane étanche secondaire 3 et non pas par l'appui de la surface d'appui 21 sur l'ondulation secondaire 10 comme dans le premier mode
30 de réalisation.

De façon non représentée, il est possible de prévoir dans ce deuxième mode de réalisation un jeu séparant la surface d'appui 21 de l'organe de renfort primaire 20

et la face interne 16 de l'ondulation secondaire 10. Un tel jeu est réalisé de façon analogue au jeu décrit ci-dessus au regard du premier mode de réalisation afin de permettre la déformation de l'ondulation secondaire 10 sans entrave de l'organe de renfort primaire 20.

5 Ainsi, l'ondulation secondaire 10 est moins voire n'est pas sollicitée pour permettre à l'organe de renfort primaire 20 de remplir sa fonction de renforcement de l'ondulation primaire 14. En conséquence, dans ce deuxième mode de réalisation, il peut être possible de ne pas utiliser d'organe de renfort secondaire 25, comme cela est illustré sur la figure 5.

10 Par ailleurs, dans ce deuxième mode de réalisation, l'organe de renfort primaire 20 est creux. Une paroi interne 42 formant la surface de renfort 22 et une paroi externe 43 formant la surface d'appui 21, ces parois 42 et 43 se joignant au niveau des extrémités de l'organe de renfort primaire 20 pour former les pattes 39 planes. Des voiles internes 44 relient la paroi interne 42 et la paroi externe 43 afin de
15 renforcer cet organe de renfort primaire 20 creux. Ces voiles internes 44 se développent par exemple sensiblement perpendiculairement à la paroi externe 43.

 La complémentarité entre la face interne 16 de l'ondulation secondaire 10 et la face d'appui 21 de l'organe de renfort primaire 20 permet d'assurer le maintien latéral de l'organe de renfort primaire 20. Typiquement, cette complémentarité permet
20 de centrer l'organe de renfort primaire 20 sur l'ondulation secondaire 10.

 Alternativement et de façon non représentée, l'organe de renfort primaire 20 se compose de deux demi-renforts primaire séparés au niveau du plan passant par les sommets 18, 19 des ondulations primaire 14 et secondaire 10 pour permettre la déformation sans entrave de l'ondulation secondaire 10. Les demi-renforts peuvent
25 être libres au niveau des sommets 18, 19 des ondulations 10, 14 et bloqués en translation par l'intermédiaire de la patte 39 logée dans le lamage 40. Les deux demi-renforts peuvent aussi être reliés par une liaison pivotante axiale perpendiculaire au plan de coupe de la figure 5.

 La technique décrite ci-dessus pour réaliser une cuve étanche et
30 thermiquement isolante peut être utilisée dans différents types de réservoirs, par exemple pour constituer la membrane d'étanchéité primaire d'un réservoir de GNL

dans une installation terrestre ou dans un ouvrage flottant comme un navire méthanier ou autre.

En référence à la figure 6, une vue écorchée d'un navire méthanier 70 montre une cuve étanche et isolée 71 de forme générale prismatique montée dans la double coque 72 du navire. La paroi de la cuve 71 comporte une barrière étanche primaire destinée à être en contact avec le GNL contenu dans la cuve, une barrière étanche secondaire agencée entre la barrière étanche primaire et la double coque 72 du navire, et deux barrières isolante agencées respectivement entre la barrière étanche primaire et la barrière étanche secondaire et entre la barrière étanche secondaire et la double coque 72.

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 appropriées, à un terminal maritime ou portuaire pour transférer une cargaison de GNL depuis ou vers la cuve 71.

La figure 6 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 méthaniers. 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 méthanier 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 méthanier 70 à grande distance de la côte pendant les opérations de chargement et de déchargement.

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.

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
5 comprend tous les équivalents techniques des moyens décrits ainsi que leurs combinaisons si celles-ci entrent dans le cadre de l'invention.

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. L'usage de l'article indéfini « un » ou
10 « une » pour un élément ou une étape n'exclut pas, sauf mention contraire, la présence d'une pluralité de tels éléments ou étapes.

Dans les revendications, tout signe de référence entre parenthèses ne saurait être interprété comme une limitation de la revendication.

REVENDEICATIONS

1. Cuve étanche et thermiquement isolante destinée à être installée dans une structure porteuse (1), ladite cuve comportant, depuis l'extérieur de la cuve vers l'intérieur de la cuve, une barrière d'isolation secondaire (2) destinée à être
5 ancrée sur la structure porteuse (1), une membrane d'étanchéité secondaire (3) reposant sur la barrière d'isolation secondaire (2), une barrière d'isolation primaire (4) reposant sur la membrane d'étanchéité secondaire (3) et une membrane d'étanchéité primaire (5) reposant sur la barrière d'isolation primaire (4),
la membrane d'étanchéité primaire (5) comportant des ondulations primaires (14)
10 faisant saillie vers l'intérieur de la cuve, la membrane d'étanchéité secondaire (3) comportant des ondulations secondaires (10) faisant saillie vers l'intérieur de la cuve, les ondulations primaires (14) et les ondulations secondaires (10) étant superposées selon une direction d'épaisseur,
la barrière d'isolation primaire (4) présentant des passages (13), les ondulations
15 secondaires (10) étant logées dans lesdits passages (13), la dimension selon la direction d'épaisseur de la barrière d'isolation primaire (4) étant inférieure à la dimension des ondulations secondaires (10) prise selon ladite direction d'épaisseur de sorte que les ondulations secondaires (10) traversent les passages (13) et sont partiellement logées dans les ondulations primaires (14),
20 la cuve comportant en outre un organe de renfort primaire (20) intercalé selon la direction d'épaisseur entre une ondulation secondaire (10) et une ondulation primaire (14) superposées de manière à renforcer ladite ondulation primaire (14).
2. Cuve selon la revendication 1, dans laquelle l'organe de renfort primaire (20) présente une surface d'appui (21) concave dont la concavité est tournée
25 vers l'ondulation secondaire (10), ladite surface d'appui (21) épousant une face interne (16) de l'ondulation secondaire (10) située en vis-à-vis.
3. Cuve selon la revendication 1 ou 2, dans laquelle la surface d'appui (21) présente un rayon de courbure identique ou proche du rayon de courbure de la face interne (16) de l'ondulation secondaire (10).

4. Cuve selon l'une des revendications 1 à 3, dans laquelle le rayon de courbure de la surface d'appui (21) est tel que la surface d'appui (21) recouvre partiellement la surface interne (16) de l'ondulation secondaire (10).
5. Cuve selon l'une des revendications 1 à 4, dans laquelle l'organe de renfort primaire (20) présente une surface de renfort (22) convexe dont la convexité est tournée vers l'ondulation primaire (14) et présentant un rayon de courbure épousant le rayon de courbure d'une face externe (17) de l'ondulation primaire (14).
6. Cuve selon l'une des revendications 1 à 5, dans laquelle l'épaisseur de l'organe de renfort primaire (20) s'amenuise en direction des extrémités latérales dudit organe de renfort primaire (20).
7. Cuve selon l'une des revendications 1 à 6, dans laquelle l'organe de renfort primaire (20) est creux et comporte des voiles (44) de renfort intérieurs.
8. Cuve selon l'une des revendications 1 à 7, comportant en outre un dispositif de maintien (30) agencé pour exercer sur l'organe de renfort primaire (20) un appui en direction de l'ondulation secondaire (10) de manière à maintenir ledit organe de renfort primaire (20) en appui contre ladite ondulation secondaire (10).
9. Cuve selon la revendication 8, dans laquelle le dispositif de maintien comporte un organe souple (31, 33) ancré sur la barrière d'isolation primaire (4) et lié à l'organe de renfort primaire (20) de manière à exercer la force d'appui en direction de l'ondulation secondaire (10) sur ledit organe de renfort primaire (20).
10. Cuve selon l'une des revendications 1 à 9, dans laquelle l'organe de renfort primaire comporte une paire de pattes (39) faisant saillie latéralement des extrémités de l'organe de renfort primaire (20), lesdites pattes (39) étant logées dans des lamages (41) respectifs de la barrière d'isolation primaire (4) de manière à bloquer l'organe de renfort primaire (20) en déplacement selon la direction d'épaisseur de la cuve.
11. Cuve selon l'une des revendications 1 à 10, comportant en outre un organe de renfort secondaire (25) intercalé selon la direction d'épaisseur de la cuve

entre une ondulation secondaire (10) et la barrière d'isolation secondaire (2) de manière à renforcer ladite ondulation secondaire (10).

12. Cuve selon la revendication 11, dans laquelle l'organe de renfort secondaire (25) présente une forme externe épousant la forme interne d'une portion de l'ondulation secondaire (10) qui fait saillie dans l'ondulation primaire (14).

13. Navire (70) pour le transport d'un produit liquide froid, le navire comportant une double coque (72) et une cuve (71) selon l'une des revendications 1 à 12 disposée dans la double coque.

14. Système de transfert pour un produit liquide froid, le système comportant un navire (70) selon la revendication 13, des canalisations isolées (73, 79, 76, 81) agencées de manière à relier la cuve (71) installée dans la coque du navire à une installation de stockage flottante ou terrestre (77) et une pompe pour entrainer un flux de produit liquide froid à travers les canalisations isolées depuis ou vers l'installation de stockage flottante ou terrestre vers ou depuis la cuve du navire.

15. Procédé de chargement ou déchargement d'un navire (70) selon la revendication 13, dans lequel on achemine un produit liquide froid 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 du navire (71).

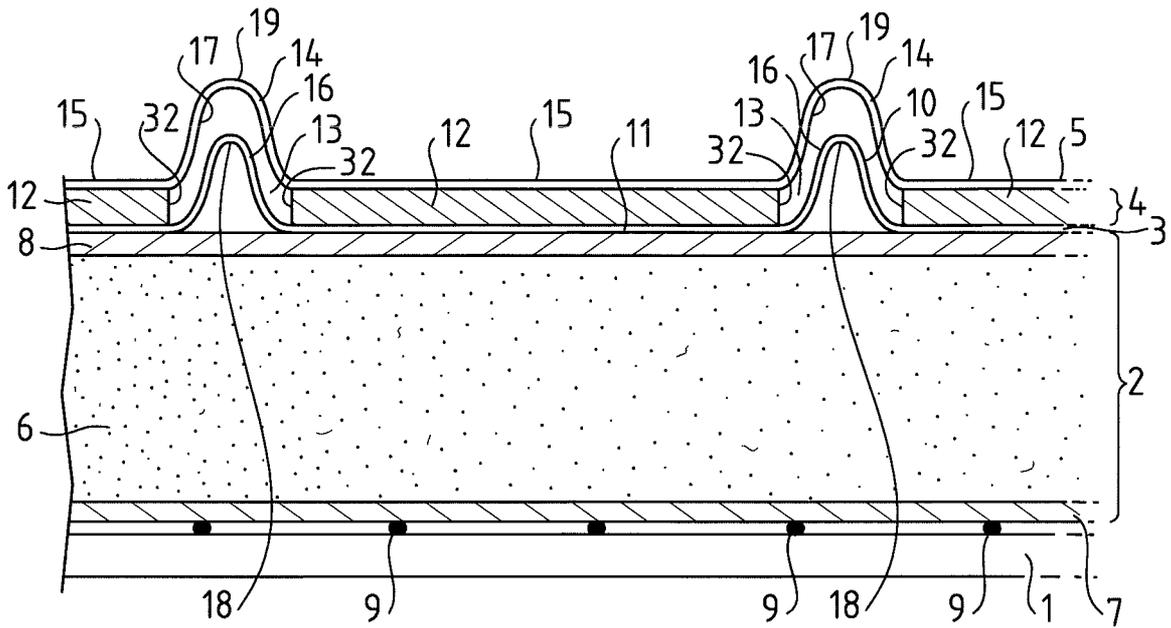


FIG. 1

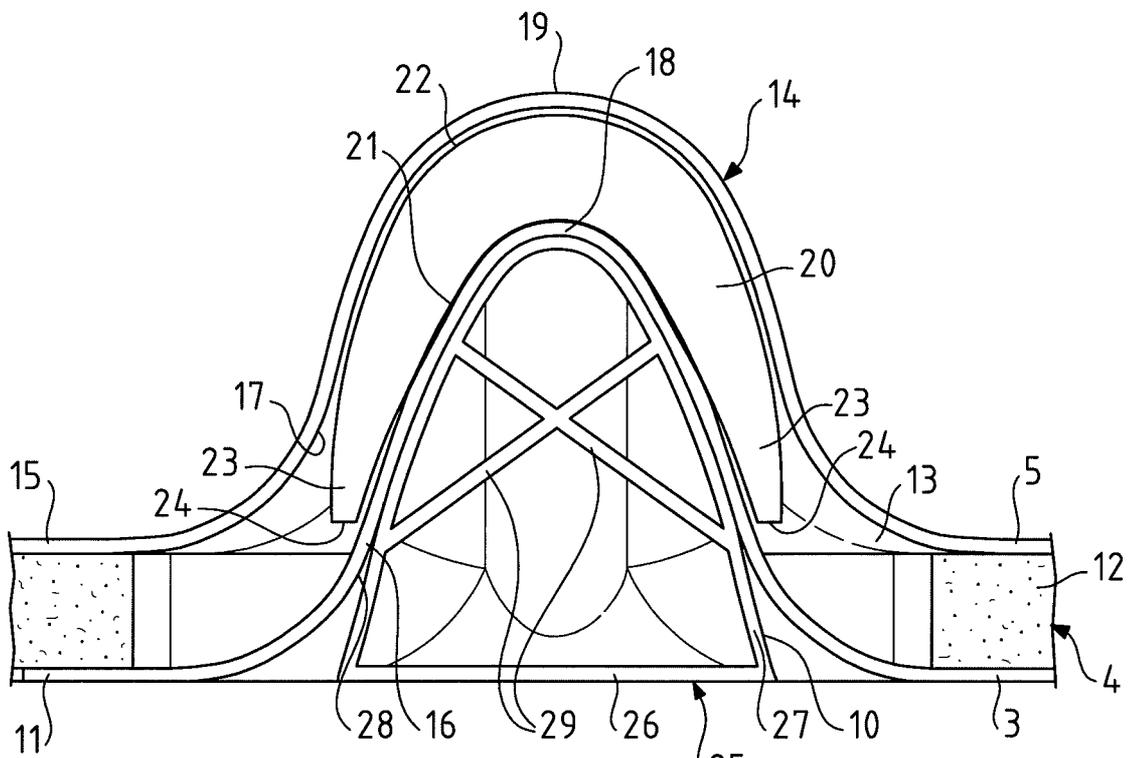


FIG. 2

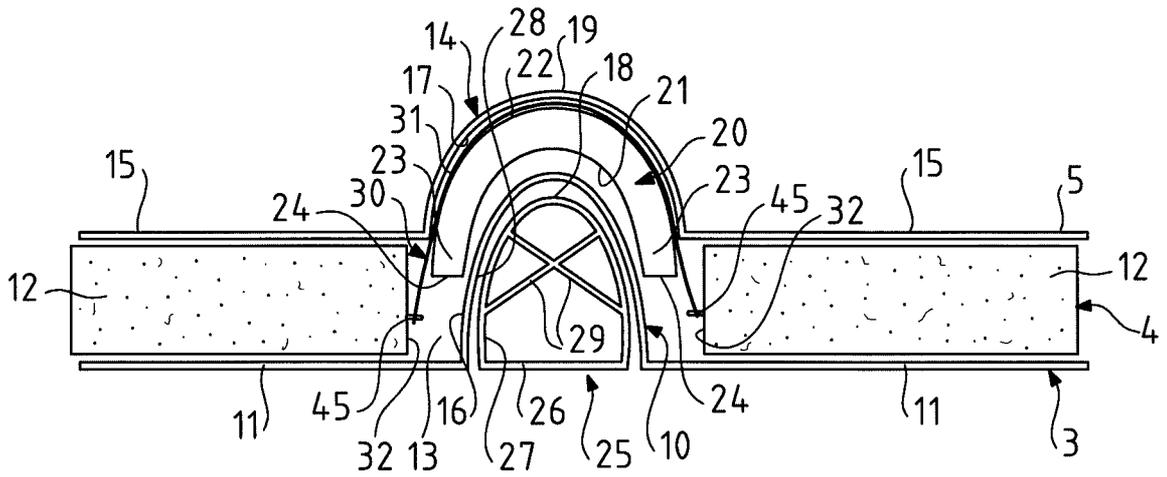


FIG. 3

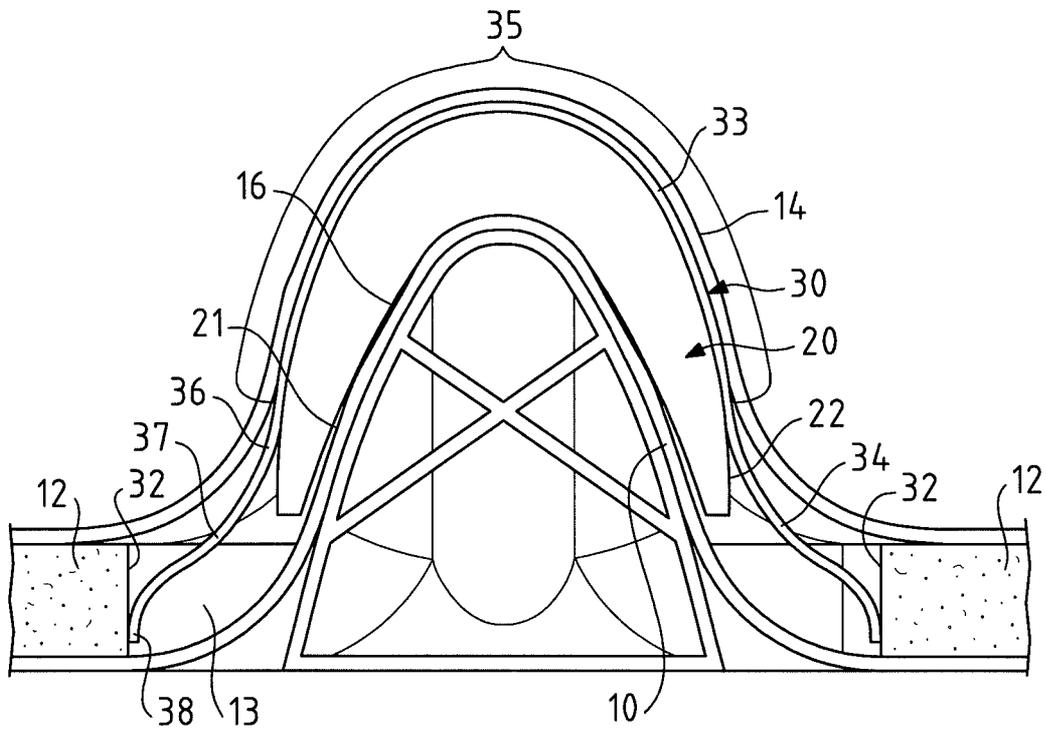
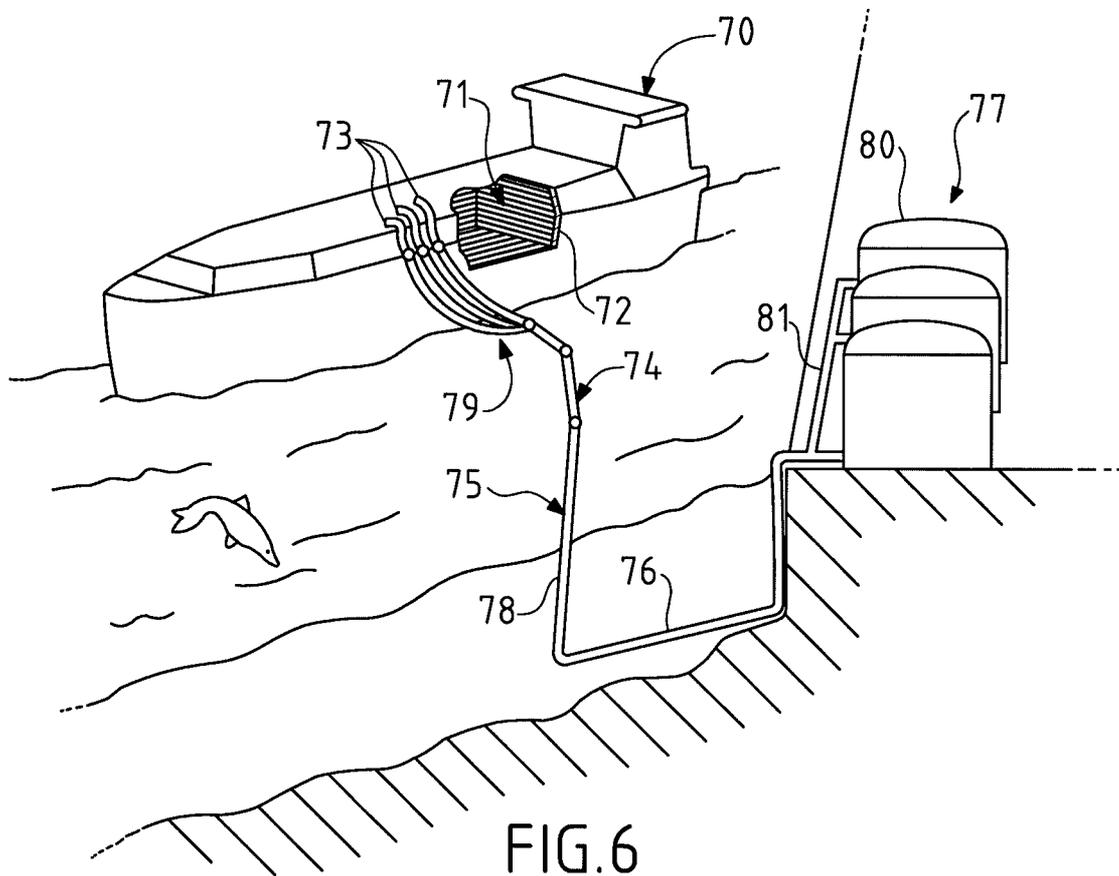
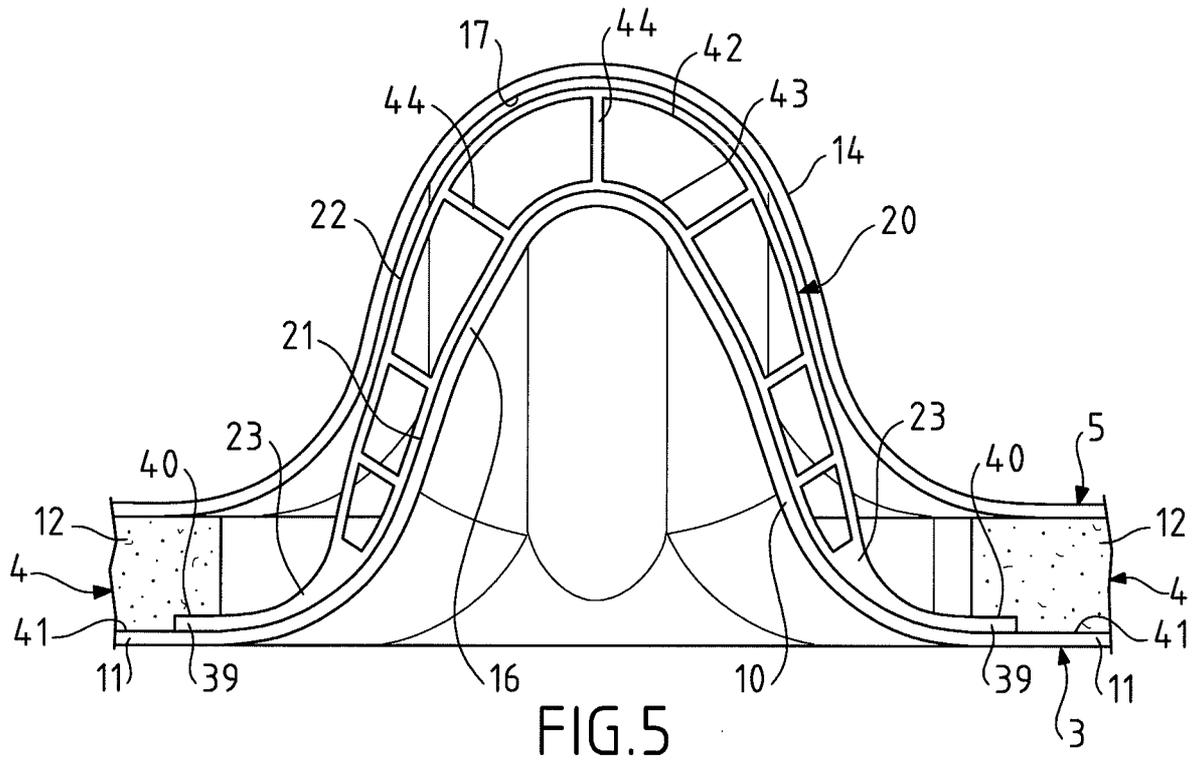


FIG. 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2019/051847

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>F17C 3/02</i> (2006.01) According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) F17C Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	EP 1847758 A2 (KOREA GAS CORP [KR]) 24 October 2007 (2007-10-24) paragraphs [0041], [0059] - [0062]; figures 1-6	1-6,8,9,11-15 7,10
Y	KR 20150140466 A (SAMSUNG HEAVY IND [KR]) 16 December 2015 (2015-12-16) paragraphs [0070] - [0074]; figures 9,10	1-5,11-15
Y	KR 20100060348 A (SAMSUNG HEAVY IND [KR]) 07 June 2010 (2010-06-07) figures 3,4	1-6,8,9,11,12
A	FR 2936784 A1 (GAZTRANSP ET TECHNIGAZ [FR]) 09 April 2010 (2010-04-09) figures 1-9	11,12
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "D" document cited by the applicant in the international application "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 07 November 2019		Date of mailing of the international search report 18 November 2019
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Nicol, Boris Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/FR2019/051847

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
EP	1847758	A2	24 October 2007	CN	101059202	A	24 October 2007
				EP	1847758	A2	24 October 2007
				JP	2007292282	A	08 November 2007
				KR	100644217	B1	02 November 2006
				US	2007246473	A1	25 October 2007
<hr/>							
KR	20150140466	A	16 December 2015	NONE			
<hr/>							
KR	20100060348	A	07 June 2010	NONE			
<hr/>							
FR	2936784	A1	09 April 2010	AU	2009301016	A1	15 April 2010
				BR	PI0920667	A2	12 January 2016
				CN	102177389	A	07 September 2011
				CN	102588732	A	18 July 2012
				CN	102588733	A	18 July 2012
				EP	2337984	A1	29 June 2011
				EP	2453159	A2	16 May 2012
				EP	2455650	A2	23 May 2012
				FR	2936784	A1	09 April 2010
				JP	5379234	B2	25 December 2013
				JP	5379258	B2	25 December 2013
				JP	5778606	B2	16 September 2015
				JP	2012111558	A	14 June 2012
				JP	2012144298	A	02 August 2012
				JP	2012505125	A	01 March 2012
				KR	20110070998	A	27 June 2011
				KR	20120031312	A	02 April 2012
				KR	20120031313	A	02 April 2012
				KR	20140042936	A	07 April 2014
				KR	20160027222	A	09 March 2016
				KR	20170115105	A	16 October 2017
				MY	154077	A	30 April 2015
				RU	2011116959	A	10 November 2012
				RU	2012105125	A	20 August 2013
				RU	2012107912	A	10 September 2013
				WO	2010040922	A1	15 April 2010
<hr/>							

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2019/051847

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. F17C3/02 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE		
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) F17C		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y A	EP 1 847 758 A2 (KOREA GAS CORP [KR]) 24 octobre 2007 (2007-10-24) alinéas [0041], [0059] - [0062]; figures 1-6 -----	1-6,8,9, 11-15 7,10
Y	KR 2015 0140466 A (SAMSUNG HEAVY IND [KR]) 16 décembre 2015 (2015-12-16) alinéas [0070] - [0074]; figures 9,10 -----	1-5, 11-15
Y	KR 2010 0060348 A (SAMSUNG HEAVY IND [KR]) 7 juin 2010 (2010-06-07) figures 3,4 -----	1-6,8,9, 11,12
A	FR 2 936 784 A1 (GAZTRANSP ET TECHNIGAZ [FR]) 9 avril 2010 (2010-04-09) figures 1-9 -----	11,12
<input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée		"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 7 novembre 2019		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 18/11/2019
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Nicol, Boris

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2019/051847

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 1847758	A2	24-10-2007	CN 101059202 A	24-10-2007
			EP 1847758 A2	24-10-2007
			JP 2007292282 A	08-11-2007
			KR 100644217 B1	02-11-2006
			US 2007246473 A1	25-10-2007

KR 20150140466	A	16-12-2015	AUCUN	

KR 20100060348	A	07-06-2010	AUCUN	

FR 2936784	A1	09-04-2010	AU 2009301016 A1	15-04-2010
			BR PI0920667 A2	12-01-2016
			CN 102177389 A	07-09-2011
			CN 102588732 A	18-07-2012
			CN 102588733 A	18-07-2012
			EP 2337984 A1	29-06-2011
			EP 2453159 A2	16-05-2012
			EP 2455650 A2	23-05-2012
			FR 2936784 A1	09-04-2010
			JP 5379234 B2	25-12-2013
			JP 5379258 B2	25-12-2013
			JP 5778606 B2	16-09-2015
			JP 2012111558 A	14-06-2012
			JP 2012144298 A	02-08-2012
			JP 2012505125 A	01-03-2012
			KR 20110070998 A	27-06-2011
			KR 20120031312 A	02-04-2012
			KR 20120031313 A	02-04-2012
			KR 20140042936 A	07-04-2014
			KR 20160027222 A	09-03-2016
			KR 20170115105 A	16-10-2017
			MY 154077 A	30-04-2015
			RU 2011116959 A	10-11-2012
			RU 2012105125 A	20-08-2013
			RU 2012107912 A	10-09-2013
			WO 2010040922 A1	15-04-2010
