

CUVE ETANCHE ET THERMIQUEMENT ISOLANTE COMPORTANT UNE PLAQUE DE REMPLISSAGE ANTI-CONVECTIVE

Domaine technique

L'invention se rapporte au domaine des cuves, étanches et thermiquement isolantes,
5 à membranes, pour le stockage et/ou le transport de fluide, tel qu'un fluide cryogénique.

Des cuves étanches et thermiquement isolantes à membranes sont notamment
employées pour le stockage de gaz naturel liquéfié (GNL), qui est stocké, à pression
atmosphérique, à environ -162°C. 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
10 naturel liquéfié ou à recevoir du gaz naturel liquéfié servant de carburant pour la propulsion de
l'ouvrage flottant.

Arrière-plan technologique

Dans l'état de la technique, il est connu des cuves étanches et thermiquement
isolantes pour le stockage de gaz naturel liquéfié, intégrées dans une structure porteuse, telle
15 que la double coque d'un navire destiné au transport de gaz naturel liquéfié. Généralement,
de telles cuves comportent une structure multicouche présentant successivement, dans le
sens de l'épaisseur, depuis l'extérieur vers l'intérieur de la cuve, une barrière d'isolation
thermique secondaire retenue à la structure porteuse, une membrane d'étanchéité secondaire
reposant contre la barrière d'isolation thermique secondaire, une barrière d'isolation thermique
20 primaire reposant contre la membrane d'étanchéité secondaire et une membrane d'étanchéité
primaire reposant contre la barrière d'isolation thermique primaire et destinée à être en contact
avec le gaz naturel liquéfié contenu dans la cuve.

Le document WO2016/046487 décrit une barrière d'isolation thermique secondaire et
une barrière d'isolation thermique primaire formées de panneaux isolants juxtaposés. Dans ce
25 document WO2016/046487, la membrane d'étanchéité secondaire est constituée d'une
pluralité de tôles métalliques comportant des ondulations faisant saillie vers l'extérieur de la
cuve et permettant ainsi à la membrane d'étanchéité secondaire de se déformer sous l'effet
des sollicitations thermiques et mécaniques générées par le fluide emmagasiné dans la cuve.
Une face interne des panneaux isolants de la barrière d'isolation thermique secondaire
30 présente des rainures recevant les ondulations des tôles métalliques ondulées de la
membrane étanche secondaire. Ces ondulations et ces rainures forment un maillage de
canaux se développant le long des parois de la cuve.

Résumé

Une idée à la base de l'invention est de proposer une cuve étanche et thermiquement isolante à membrane d'étanchéité comportant des ondulations dans laquelle les phénomènes de convection sont réduits. En particulier, une idée à la base de l'invention est de fournir une

5 cuve étanche et thermiquement isolante limitant la présence de canaux de circulation continus dans les barrières d'isolation thermique afin de limiter les phénomènes de convection naturelle dans lesdites barrières d'isolation thermique.

Selon un mode de réalisation, l'invention fournit une cuve étanche et thermiquement isolante de stockage d'un fluide, dans laquelle une paroi de cuve comporte, successivement

10 dans une direction d'épaisseur, une barrière d'isolation thermique secondaire comportant une pluralité d'éléments isolants secondaires juxtaposés, les éléments isolants secondaires étant retenus contre une paroi porteuse, par exemple par des organes de retenue secondaires, une membrane d'étanchéité secondaire portée par les éléments isolants secondaires de la barrière

15 d'isolation thermique secondaire, une barrière d'isolation thermique primaire comportant une pluralité d'éléments isolants primaires juxtaposés, les éléments isolants primaires étant retenus contre la membrane d'étanchéité secondaire, par exemple par des organes de retenue primaires, et une membrane d'étanchéité primaire portée par la barrière d'isolation thermique primaire et destinée à être en contact avec le fluide cryogénique contenu dans la cuve

Selon des modes de réalisation, une telle cuve peut comporter une ou plusieurs des

20 caractéristiques suivantes.

Selon un mode de réalisation, la membrane d'étanchéité secondaire est une membrane métallique ondulée comportant une série d'ondulations parallèles formant de canaux, notamment des canaux de grande longueur selon les dimensions de la cuve, et des portions planes situées entre lesdites ondulations, les éléments isolants primaires présentant

25 une face externe, ladite face externe pouvant être plane, recouvrant les portions planes de la membrane d'étanchéité secondaire, les éléments isolants secondaires présentant une face interne, pouvant être plane, supportant les portions planes de la membrane d'étanchéité secondaire, des éléments de remplissage anti-convectifs étant disposés dans des ondulations de la membrane d'étanchéité secondaire pour créer une perte de charge dans lesdits canaux.

30 Grâce à ces caractéristiques, il est possible de limiter les phénomènes de convection le long des ondulations de la membrane d'étanchéité secondaire, en particulier dans les parois de cuve qui présentent une orientation verticale ou oblique dans le champ de gravité, dans

lesquelles un gradient de température entre la partie haute et la partie basse de la paroi est susceptible de favoriser un tel phénomène.

Selon un mode de réalisation, les ondulations de la membrane d'étanchéité secondaire font saillie vers l'extérieur de la cuve en direction de la structure porteuse.

- 5 Selon un mode de réalisation, les éléments de remplissage anti-convectifs disposés dans les ondulations de la membrane d'étanchéité secondaire sont recouverts par la face externe des éléments isolants primaires.

- Selon un mode de réalisation, les éléments de remplissage anti-convectifs disposés dans les ondulations de la membrane d'étanchéité secondaire sont fixés à la face externe des
10 éléments isolants primaires.

Selon un mode de réalisation, les éléments de remplissage anti-convectifs disposés dans les ondulations de la membrane d'étanchéité secondaire sont fixés, par exemple collés, à la membrane d'étanchéité secondaire.

- Selon un mode de réalisation, les éléments isolants secondaires présentent des
15 rainures creusées dans la face interne pour recevoir des ondulations de la membrane d'étanchéité secondaire, des éléments de remplissage anti-convectifs complémentaires étant disposés dans lesdites rainures entre la membrane d'étanchéité secondaire et les éléments isolants secondaires pour créer une perte de charge dans une portion restante desdites rainures située autour des ondulations de la membrane d'étanchéité secondaire.

- 20 Selon un mode de réalisation, les ondulations de la membrane d'étanchéité secondaire font saillie vers l'intérieur de la cuve.

Selon un mode de réalisation, les éléments de remplissage anti-convectifs disposés dans les ondulations de la membrane d'étanchéité secondaire sont supportés par la face interne des éléments isolants secondaires.

- 25 Selon un mode de réalisation, les éléments isolants primaires présentent des rainures creusées dans la face externe pour recevoir des ondulations de la membrane d'étanchéité secondaire, des éléments de remplissage anti-convectifs complémentaires étant disposés dans lesdites rainures entre la membrane d'étanchéité secondaire et les éléments isolants primaires pour créer une perte de charge dans une portion restante desdites rainures située
30 autour des ondulations de la membrane d'étanchéité secondaire.

Selon un mode de réalisation, la membrane d'étanchéité primaire est une membrane métallique ondulée comportant une série d'ondulations parallèles formant de canaux, notamment des canaux de grande longueur selon les dimensions de la cuve, et des portions planes situées entre lesdites ondulations, les éléments isolants primaires présentant une face interne supportant les portions planes de la membrane d'étanchéité primaire.

Selon un mode de réalisation, les ondulations de la membrane d'étanchéité primaire font saillie vers l'extérieur de la cuve en direction de la structure porteuse.

Selon un mode de réalisation, les éléments isolants primaires présentent des rainures creusées dans la face interne pour recevoir des ondulations de la membrane d'étanchéité primaire, des éléments de remplissage anti-convectifs complémentaires étant disposés dans lesdites rainures entre la membrane d'étanchéité primaire et les éléments isolants primaires pour créer une perte de charge dans une portion restante desdites rainures située autour des ondulations de la membrane d'étanchéité primaire.

Selon un mode de réalisation, les éléments de remplissage anti-convectifs comportent une pièce de remplissage allongée disposée dans une ondulation de la membrane d'étanchéité secondaire, et/ou de la membrane d'étanchéité primaire, la pièce de remplissage allongée présentant une forme de section qui remplit au moins 80% la section de l'ondulation dans l'état assemblé de la cuve, et par exemple toute la section de l'ondulation. La pièce de remplissage allongée peut présenter de nombreuses formes de section. Par exemples, la pièce de remplissage allongée peut présenter une forme de section complémentaire de la forme de section de l'ondulation ou encore une forme de section circulaire, elliptique ou autre.

Selon un mode de réalisation, la pièce de remplissage disposée dans une ondulation comporte des rainures parallèles orientées transversalement à la longueur de la pièce de remplissage et distribuées le long de la longueur de la pièce de remplissage.

Selon un mode de réalisation, la membrane d'étanchéité secondaire, et/ou la membrane d'étanchéité primaire, comporte une première série d'ondulations parallèles et une deuxième série d'ondulations parallèles qui est transverse à la première série d'ondulations et qui coupe la première série d'ondulations au niveau de zones de nœud, les éléments de remplissage anti-convectifs comportant des pièces de nœud disposées dans des zones de nœud de la membrane d'étanchéité secondaire, et/ou la membrane d'étanchéité primaire.

Selon un mode de réalisation, un élément de remplissage anti-convectif ou un élément de remplissage anti-convectif complémentaire est réalisé en polystyrène expansé ou en mousse polymère ou en laine de verre.

5 Selon un mode de réalisation, un élément de remplissage anti-convectif ou un élément de remplissage anti-convectif complémentaire est réalisé en matière synthétique souple ou en matière synthétique moulée.

Selon un mode de réalisation, les éléments isolants primaires comportent des panneaux isolants parallélépipédiques disposés de manière à ménager des interstices entre eux,

10 la barrière d'isolation thermique primaire comportant en outre une bande de couverture anti-convective réalisée en matière continue, de préférence mince, et disposée le long d'un bord d'un premier panneau isolant parallélépipédique de manière à sensiblement obturer l'interstice entre ledit premier panneau isolant parallélépipédique et un deuxième panneau isolant parallélépipédique, le deuxième panneau isolant parallélépipédique étant adjacent au premier
15 panneau isolant parallélépipédique, la bande de couverture anti-convective comportant une première portion de bordure disposée sur la face interne du premier panneau isolant parallélépipédique.

Grâce à ces caractéristiques, il est possible de limiter les phénomènes de convection dans les interstices entre panneaux isolants parallélépipédiques, en particulier dans la
20 direction d'épaisseur de la paroi de cuve. En particulier la pose d'une telle bande de couverture anti-convective peut être réalisée sans grande difficulté même si l'interstice est étroit.

La première portion de bordure de la bande de couverture anti-convective peut être fixée sur le premier panneau isolant parallélépipédique ou sous la membrane primaire, notamment collée ou agrafée sur la face interne du premier panneau isolant
25 parallélépipédique. La bordure opposée de la bande de couverture anti-convective est de préférence laissée libre.

Selon un mode de réalisation, la face interne du premier panneau isolant parallélépipédique comporte un lamage le long de l'interstice pour accueillir la première portion de bordure de la bande de couverture anti-convective.

30 Grâce à ces caractéristiques, il est possible de loger et fixer la bande de couverture anti-convective sans affecter la planéité de la face interne du panneau isolant parallélépipédique qui supporte la membrane d'étanchéité.

Selon un mode de réalisation, la bande de couverture anti-convective enjambe l'interstice entre le premier panneau isolant parallélépipédique et le deuxième panneau isolant parallélépipédique, la bande de couverture anti-convective présentant une deuxième portion de bordure opposée à la première portion de bordure et disposée sur la face interne du
5 deuxième panneau isolant parallélépipédique.

Selon un mode de réalisation, la face interne du deuxième panneau isolant parallélépipédique comporte un lamage le long de l'interstice pour accueillir la deuxième portion de bordure de la bande de couverture anti-convective.

Selon un mode de réalisation, la première et/ou la deuxième portion de bordure
10 présente une largeur supérieure à 10mm.

Selon un mode de réalisation, la bande de couverture anti-convective comporte une portion repliée qui est engagée dans l'interstice entre le premier panneau isolant parallélépipédique et le deuxième panneau isolant parallélépipédique, la portion repliée comportant un premier pan s'étendant vers l'extérieur dans la direction d'épaisseur de la paroi
15 de cuve depuis la première portion de bordure et un deuxième pan s'étendant vers l'intérieur dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve depuis le premier pan. Dans ce cas, la bande de couverture anti-convective est préférentiellement réalisée en matière souple.

Selon un mode de réalisation, la portion repliée prend appui contre une face latérale du deuxième panneau isolant parallélépipédique bordant l'interstice. Dans ce cas, il n'est pas
20 indispensable que la bande de couverture dépasse sur la face interne du deuxième panneau isolant.

Selon un mode de réalisation, la bande de couverture anti-convective présente une longueur supérieure à la longueur dudit bord du premier panneau isolant parallélépipédique de manière à dépasser au moins sur un troisième panneau isolant parallélépipédique, le
25 troisième panneau isolant parallélépipédique étant adjacent au premier panneau isolant parallélépipédique.

Selon un mode de réalisation, le premier panneau isolant parallélépipédique porte en outre une deuxième bande de couverture anti-convective réalisée en matière continue mince et disposée le long d'un bord du premier panneau isolant parallélépipédique tourné vers le
30 troisième panneau isolant parallélépipédique, de manière à sensiblement obturer l'interstice entre ledit premier panneau isolant parallélépipédique et le troisième panneau isolant parallélépipédique, la deuxième bande de couverture anti-convective comportant une

première portion de bordure posée ou fixée sur la face interne du premier panneau isolant parallélépipédique.

Selon un mode de réalisation, les première et deuxième bandes de couverture anti-convectives sont constituées par une seule pièce de matière continue mince découpée en
5 forme de L.

La bande de couverture anti-convective peut être réalisée dans des matériaux souples ou rigides, par exemple avec une épaisseur inférieure à 2 mm, voire inférieure ou égale à 1 mm. Selon un mode de réalisation, la bande de couverture anti-convective est réalisée dans un matériau choisi parmi le papier, le carton, les films polymères et les matériaux
10 composites à base de résine polymère et de fibres.

Selon un mode de réalisation, l'interstice entre le premier panneau isolant parallélépipédique et le deuxième panneau isolant parallélépipédique présente une largeur inférieure à 10 mm.

Selon un mode de réalisation, les éléments isolants primaires comportent des
15 panneaux isolants parallélépipédiques disposés de manière à ménager des interstices entre eux,

la barrière d'isolation thermique primaire comportant en outre une plaque de remplissage anti-convective disposée dans l'interstice entre un premier panneau isolant parallélépipédique et un deuxième panneau isolant parallélépipédique, le deuxième panneau isolant
20 parallélépipédique étant adjacent au premier panneau isolant parallélépipédique, la plaque de remplissage anti-convective étant réalisée en matière continue mince et présentant une pluralité d'éléments de paroi allongés s'étendant dans sensiblement toute la largeur de l'interstice pour délimiter des alvéoles s'étendant sensiblement perpendiculairement à la direction d'épaisseur.

Grâce à une telle plaque de remplissage, il est possible de limiter les phénomènes
25 de convection dans les interstices entre panneaux isolants parallélépipédiques, en particulier dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve. De préférence, la plaque de remplissage est réalisée en matière relativement flexible, telle que papier, carton, feuille plastique, notamment polyétherimide ou encore polyamide imide pour que les alvéoles puissent facilement s'écraser
30 et ainsi s'adapter à la largeur de l'interstice.

La longueur d'une telle plaque de remplissage peut être plus grande, plus petite ou sensiblement égale à la longueur des bords des panneaux isolants parallélépipédiques entre lesquels l'interstice est formé.

Une telle plaque de remplissage peut être notamment être interrompue ou découpée
5 à l'emplacement des organes de retenue primaires, du moins lorsque les organes de retenue primaires sont aussi disposés dans les interstices.

Selon un mode de réalisation, les éléments de paroi allongés sont formés de portions successives d'une feuille de matière ondulée présentant des ondulations parallèles alternées s'étendant sensiblement perpendiculairement à la direction d'épaisseur.

10 Selon un mode de réalisation, la plaque de remplissage présente une structure sandwich comportant deux feuilles continues parallèles espacées par lesdits éléments de paroi allongés, lesdites deux feuilles continues parallèles étant agencées contre deux faces latérales du premier et du deuxième panneau isolant parallélépipédique délimitant l'interstice. Dans une telle structure sandwich, la largeur des alvéoles est en fait égale à la largeur de
15 l'interstice diminuée de l'épaisseur des deux feuilles continues parallèles.

Selon un mode de réalisation, les éléments de paroi allongés sont formés d'éléments cylindriques s'étendant sensiblement perpendiculairement à la direction d'épaisseur et fixés entre les deux feuilles continues parallèles. La forme de section de tels d'éléments cylindriques peut être quelconque, par exemple hexagonale, circulaire ou autre.

20 Selon un mode de réalisation, au moins l'une des deux feuilles continues parallèles espacées par lesdits éléments de paroi allongés comporte une portion de bordure supérieure repliée et fixée sur la face interne d'au moins l'un des deux panneaux isolant parallélépipédiques entre lesquels l'interstice est formé.

25 Selon un mode de réalisation, la face interne du premier et/ ou du deuxième panneau isolant parallélépipédique comporte un lamage le long de l'interstice pour accueillir ladite portion de bordure supérieure de la feuille continue.

Grâce à ces caractéristiques, il est possible de loger et fixer la portion de bordure supérieure de la feuille continue sans affecter la planéité de la face interne du panneau isolant parallélépipédique qui supporte la membrane d'étanchéité.

Selon un mode de réalisation, l'interstice entre le premier panneau isolant parallélépipédique et le deuxième panneau isolant parallélépipédique présente une largeur inférieure à 10 mm.

5 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, méthanier, une unité flottante de stockage et de regazéification (FSRU), une unité flottante de production et de stockage déporté (FPSO) et autres.

10 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.

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

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

20 **Brève description des figures**

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.

- 25
- **La figure 1** est une vue en perspective, écorchée, d'une paroi de cuve étanche et thermiquement isolante de stockage d'un fluide ;
 - **La figure 2** est une vue partielle en perspective de la section II-II de la figure 1 illustrant un premier mode de réalisation de l'invention ;

- **La figure 3** est une vue en perspective schématique de dessous d'un panneau isolant de la barrière d'isolation thermique primaire selon une variante de réalisation du premier mode de réalisation de l'invention ;
- 5 • **La figure 4** est une vue partielle en perspective de la section II-II de la figure 1 illustrant un deuxième mode de réalisation de l'invention ;
- **La figure 5** est une vue en perspective schématique d'un exemple de barreau de remplissage ;
- **La figure 6** est une vue en coupe illustrant le deuxième mode de réalisation de l'invention selon la coupe III-III de la figure 1 ;
- 10 • **La figure 7** représente une vue en coupe d'une paroi de cuve étanche et thermiquement isolante selon un troisième mode de réalisation de l'invention ;
- **La figure 8** est une vue partielle en perspective schématique d'une cuve étanche et thermiquement isolante selon un quatrième mode de réalisation dans laquelle la membrane étanche primaire n'est pas illustrée ;
- 15 • **La figure 9** est une vue en coupe partielle d'un interstice entre deux panneaux isolants de la barrière thermiquement isolante primaire de la figure 7 ;
- **La figure 10** est une vue en coupe partielle d'un interstice entre deux panneaux isolants de la barrière thermiquement isolante primaire selon une variante de réalisation de la figure 9 ;
- 20 • **Les figures 11 à 15** sont des vues en coupe partielle d'un interstice entre deux panneaux isolants de la barrière thermiquement isolante primaire selon un cinquième mode de réalisation ;
- **La figure 16** est une représentation schématique écorchée d'une cuve de navire méthanier et d'un terminal de chargement/déchargement de cette cuve ;
- 25 • **La figure 17** est une représentation schématique des plaques internes de trois panneaux isolants primaires adjacents sur lesquels repose une plaque anti-convection en forme de L selon une variante de réalisation du quatrième mode de réalisation de l'invention. ;

Description détaillée de modes de réalisation

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.

Sur la figure 1, on a représenté la structure multicouche d'une paroi de cuve étanche
5 et thermiquement isolante de stockage d'un fluide.

Une telle paroi de cuve comporte, depuis l'extérieur vers l'intérieur de la cuve, une barrière d'isolation thermique secondaire 1 comportant des panneaux isolants secondaires 2 juxtaposés et ancrés à une structure porteuse 3 par des organes de retenue secondaires (non représentés), par exemple des goujons soudés à la structure porteuse 3, une membrane
10 d'étanchéité secondaire 4 portée par les panneaux isolants secondaires 2 de la barrière d'isolation thermique secondaire 1, une barrière d'isolation thermique primaire 5 comportant des panneaux isolants primaires 6 juxtaposés et ancrés aux panneaux isolants secondaires 2 de la barrière d'isolation thermique secondaire 1 par des organes de retenue primaires 19 et une membrane d'étanchéité primaire 7, portée par les panneaux isolants primaires 6 de la
15 barrière d'isolation thermique primaire 5 et destinée à être en contact avec le fluide cryogénique contenu dans la cuve.

La structure porteuse 3 peut notamment être une tôle métallique autoporteuse ou, plus généralement, tout type de cloison rigide présentant des propriétés mécaniques appropriées. La structure porteuse 3 peut notamment être formée par la coque ou la double
20 coque d'un navire. La structure porteuse 3 comporte une pluralité de parois définissant la forme générale de la cuve, habituellement une forme polyédrique.

Les panneaux isolants secondaires 2 présentent sensiblement une forme de parallélépipède rectangle. Les panneaux isolants secondaires 2 comportent chacun une couche de garniture isolante 9, par exemple une mousse polymère isolante 9, prise en
25 sandwich entre une plaque rigide interne 10 et une plaque rigide externe 11. Les plaques rigides, interne 10 et externe 11, sont, par exemple, des plaques de bois contreplaqué collées sur ladite couche de mousse polymère isolante 9. La mousse polymère isolante peut notamment être une mousse à base de polyuréthane. La mousse polymère est avantageusement renforcée par des fibres de verre contribuant à réduire sa contraction
30 thermique.

Les panneaux isolants secondaires 2 sont juxtaposés selon des rangées parallèles et séparés les uns des autres par des interstices 12 garantissant un jeu fonctionnel de

montage. Les interstices 12 sont comblés avec une garniture calorifuge 13, représentée sur les figures 1 et 7, telle que de la laine de verre, de la laine de roche ou de la mousse synthétique souple à cellules ouvertes par exemple. La garniture calorifuge 13 est avantageusement réalisée dans un matériau poreux de sorte à permettre une circulation de gaz dans les interstices 12 entre les panneaux isolants secondaires 2, par exemple une circulation de gaz inerte, tel que de l'azote, au sein de la barrière d'isolation thermique secondaire 1 de sorte à la maintenir sous atmosphère inerte et ainsi éviter que du gaz combustible se trouve dans une plage de concentration explosive et/ou afin de placer la barrière d'isolation thermique secondaire 1 en dépression afin d'augmenter son pouvoir isolant. Cette circulation de gaz est aussi importante pour faciliter la détection des éventuelles fuites de gaz combustible. Les interstices 12 présentent par exemple, une largeur de l'ordre de 30 mm.

La plaque interne 10 présente deux séries de rainures 14, 15, perpendiculaires l'une à l'autre, de sorte à former un réseau de rainures. Chacune des séries de rainures 14, 15 est parallèle à deux côtés opposés des panneaux isolants secondaires 2. Les rainures 14, 15 sont destinées à la réception d'ondulations 25, 26, faisant saillie vers l'extérieur de la cuve, formées sur des tôles métalliques 24 de la membrane d'étanchéité secondaire 4. Dans le mode de réalisation représenté sur la figure 1, la plaque interne 10 comporte trois rainures 14 s'étendant selon la direction longitudinale du panneau isolant secondaire 2 et neuf rainures 15 s'étendant selon la direction transversale du panneau isolant secondaire 2.

Par ailleurs, la plaque interne 10 est équipée de platines métalliques 17, 18 pour l'ancrage du bord des tôles métalliques ondulées 24 de la membrane d'étanchéité secondaire 4 sur les panneaux isolants secondaires 2. Les platines métalliques 17, 18 s'étendent selon deux directions perpendiculaires qui sont chacune parallèles à deux côtés opposés des panneaux isolants secondaires 2. Les platines métalliques 17, 18 sont fixées sur la plaque interne 10 du panneau isolant secondaire 2, par des vis, des rivets ou des agrafes, par exemple. Les platines métalliques 17, 18 sont mises en place dans des évidements ménagés dans la plaque interne 10 de telle sorte que la surface interne des platines métalliques 17, 18 affleure la surface interne de la plaque interne 10. La plaque interne 10 présente une surface interne qui est sensiblement plane, hors des éventuelles zones singulières telles que les rainures 14, 15 ou les lamages permettant de loger les platines métalliques 17, 18,

La plaque interne 10 est également équipée de goujons filetés 19 faisant saillie vers l'intérieur de la cuve, et destinés à assurer la fixation de la barrière d'isolation thermique

primaire 5 sur les panneaux isolants secondaires 2 de la barrière d'isolation thermique secondaire 1. Les goujons métalliques 19 passent au travers d'orifices ménagés dans les platines métalliques 17.

5 La membrane d'étanchéité secondaire 4 comporte une pluralité de tôles métalliques ondulées 24 ayant chacune une forme sensiblement rectangulaire. Les tôles métalliques ondulées 24 sont disposées de manière décalée par rapport aux panneaux isolants secondaires 2 de la barrière d'isolation thermique secondaire 1 de telle sorte que chacune desdites tôles métalliques ondulées 24 s'étende conjointement sur quatre panneaux isolants secondaires 2 adjacents.

10 Chaque tôle métallique ondulée 24 présente une première série d'ondulations 25 parallèles s'étendant selon une première direction et une seconde série d'ondulations 26 parallèles s'étendant selon une seconde direction. Les directions des séries d'ondulations 25, 26 sont perpendiculaires. Chacune des séries d'ondulations 25, 26 est parallèle à deux bords opposés de la tôle métallique ondulée 24. Les ondulations 25, 26 font saillie vers l'extérieur de la cuve, c'est-à-dire en direction de la structure porteuse 3. La tôle métallique ondulée 24 comporte entre les ondulations 25, 26 une pluralité de surfaces planes. Au niveau de chaque croisement entre deux ondulations 25, 26 la tôle métallique 24 comporte une zone de nœud 27.

20 Les ondulations 25, 26 des tôles métalliques ondulées 24 sont logées dans les rainures 14, 15 ménagées dans la plaque interne 10 des panneaux isolants secondaires 2. Les tôles métalliques ondulées 24 adjacentes sont soudées entre elles à recouvrement. L'ancrage des tôles métalliques ondulées 24 sur les platines métalliques 17, 18 est réalisé par des soudures de pointage.

25 Les tôles métalliques ondulées 24 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 24 peuvent également être réalisées en acier inoxydable ou en aluminium.

30 La barrière d'isolation thermique primaire 5 comporte une pluralité de panneaux isolants primaires 6 de forme sensiblement parallélépipédique rectangle. Les panneaux isolants primaires 6 sont ici décalés par rapport aux panneaux isolants secondaires 2 de la

barrière d'isolation thermique secondaire 1 de telle sorte que chaque panneau isolant primaire 6 s'étende sur quatre panneaux isolants secondaires 2 de la barrière d'isolation thermique secondaire 1. Les panneaux isolants primaires 6 adjacents sont espacés d'un espace 8 garantissant un jeu fonctionnel de montage desdits panneaux isolants primaires 6. Cependant, cet espace 8 est réduit par rapport à l'interstice 12 entre deux panneaux isolants secondaires 2 adjacents de la barrière d'isolation thermique secondaire 1. Ainsi, l'espace 8 séparant deux panneaux isolants primaires 6 de la barrière d'isolation thermique primaire 5 est de l'ordre de 4mm plus ou moins 3mm.

Les panneaux isolants primaires 6 comportent une structure analogue aux panneaux isolants secondaires 2 de la barrière d'isolation thermique secondaire 1, à savoir une structure sandwich constituée d'une couche de garniture isolante telle qu'une couche de mousse polymère isolante 29 prise en sandwich entre deux plaques rigides, interne 30 et externe 31, par exemple en bois contreplaqué. La plaque interne 30 d'un panneau isolant primaire 6 est équipée de platines métalliques 32, 33 pour l'ancrage de tôles métalliques ondulées 39 de la membrane d'étanchéité primaire 7 de façon analogue aux platines métalliques 17, 18 permettant l'ancrage des tôles métalliques ondulées 24 de la membrane d'étanchéité secondaire 4. De même, les plaques interne 30 et externe 31 sont de préférence planes, hors des éventuelles zones singulières,.

La membrane d'étanchéité primaire 7 est obtenue par assemblage d'une pluralité de tôles métalliques ondulées 39 analogues aux tôles métalliques ondulées 24 de la membrane d'étanchéité secondaire 4. Chaque tôle métallique ondulée 39 comporte deux séries d'ondulations 40 perpendiculaires entre elles. Les ondulations 40 de chacune desdites séries d'ondulations 40 sont parallèles à un côté respectif de la tôle métallique ondulée 39 correspondante. Dans le mode de réalisation illustré sur la figure 1, les ondulations 40 font saillie vers l'intérieur de la cuve. Les tôles métalliques ondulées 39 sont, par exemple, réalisées en acier inoxydable ou en aluminium.

D'autres détails et d'autres modes de réalisation, notamment sur les barrières d'isolations thermiques secondaire 1 et primaire 5, les organes d'ancrage des barrières thermiquement isolantes 1 et 5 et les membranes d'étanchéité 4 et 7, peuvent être trouvés dans le document WO2016/046487, le document WO2013004943 ou encore le document WO2014057221.

Dans une telle cuve, les ondulations 25, 26 de la membrane d'étanchéité secondaire 4 constituent un maillage de canaux de circulation. De tels canaux se développent de façon continue entre la membrane d'étanchéité secondaire 4 et la barrière d'isolation thermique primaire 5 dans toute la paroi de cuve. De tels canaux favorisent ainsi les mouvements de convection, en particulier sur les parois de cuves ayant une composante verticale importante telles que les parois de cuve transversales. Ce maillage de canaux continus peut générer des phénomènes de thermosiphon dans la barrière d'isolation thermique primaire 5. Un aspect de l'invention part de l'idée d'empêcher ces mouvements de convection dans les parois de la cuve.

La figure 2 représente une vue partielle en perspective de la section II-II de la figure 1 au niveau d'un croisement entre des ondulations 25, 26 de la membrane d'étanchéité secondaire 4 selon un premier mode de réalisation de l'invention. Les éléments identiques ou remplissant la même fonction que ceux décrits ci-dessus présentent les mêmes chiffres de référence.

Sur cette figure 2, seules deux ondulations 25 de la première série d'ondulations 25 et deux ondulations 26 de la deuxième série d'ondulations 26 sont illustrées, ces ondulations 25, 26 formant à leurs intersections des nœuds 27 de la membrane d'étanchéité secondaire 4. La description ci-dessous pour ces ondulations 25, 26 et nœuds 27 s'applique par analogie à toutes les ondulations 25, 26 et à tous les nœuds 27 de la membrane étanche secondaire 4.

Un aspect de l'invention part de l'idée de limiter la longueur des canaux formés par les ondulations 25, 26 de la membrane étanche secondaire 4. Selon le premier mode de réalisation de l'invention, des blocs de remplissage 16 de garniture isolante sont insérés dans un, certains, ou tous les nœuds 27 de la membrane d'étanchéité secondaire 4. Ces blocs de remplissage 16 sont disposés dans les nœuds 27 sur une face interne des tôles métalliques ondulées 24 afin d'être agencées entre la membrane d'étanchéité secondaire 4 et la barrière d'isolation thermique primaire 5. Sur la figure 2, un tel bloc de remplissage 16 est disposé dans chaque nœud 27 de la membrane d'étanchéité secondaire 4.

Un tel bloc de remplissage 16 prend la forme d'un bloc isolant en forme de croix se développant dans le nœud 27 dans lequel il est inséré et débordant dans des portions des rainures 25, 26 formant ledit nœud 27. En outre, un tel bloc de remplissage 16 présente une section de forme complémentaire aux formes du nœud 27 et des portions des rainures 25, 26

dans lesquelles ledit bloc de remplissage 16 est inséré. Dans ce premier mode de réalisation, les blocs de remplissage 16 sont insérés dans les nœuds 27 et les portions des ondulations 25, 26 correspondantes après l'installation de la membrane d'étanchéité secondaire 4 sur la barrière d'isolation thermique secondaire 1 et préalablement à l'installation des panneaux isolants primaires 6 sur la membrane d'étanchéité secondaire 4.

Le bloc de remplissage 16 peut être réalisé en tout matériau permettant une perte de charge dans les canaux formés par les ondulations 25, 26. Ainsi, les blocs de remplissage 16 peuvent être réalisés, par exemples, en mousse, en feutre, en laine de verre, en bois ou autres.

De préférence, les blocs de remplissage 16 sont formés dans une mousse souple permettant sa compression. Une telle mousse souple permet de dimensionner les blocs de remplissage 16 avec des dimensions légèrement supérieures aux dimensions des nœuds 27 et des portions des ondulations 25, 26 afin de loger les blocs de remplissage 16 dans lesdits nœuds 27 et portions des ondulations 25, 26 avec une légère compression desdits blocs de remplissage 16 afin d'épouser au plus près les formes du nœud 27.

En outre, les blocs de remplissage 16 sont de préférence réalisés dans une mousse à cellule ouverte. Une telle mousse à cellule ouverte permet de limiter le phénomène de convection en produisant une perte de charge dans les mouvements thermiques au sein des canaux formés par les ondulations 25, 26 tout en permettant la circulation de gaz tel qu'un gaz inerte au sein de la barrière d'isolation thermique primaire 5 comme expliqué ci-dessus pour le rembourrage 13.

Ainsi, les blocs de remplissage 16 forment des bouchons limitant la longueur des canaux formés par les ondulations 25, 26. Typiquement, chaque ondulation forme une pluralité de canaux discontinus formés chacun par une section de ladite ondulation 25, 26 comprise entre deux nœuds 27 successifs. De tels canaux limités aux sections des ondulations 25, 26 situées entre deux nœuds 27 adjacents ne permettent pas la création de phénomène de convection important et, en particulier, empêche la création d'un phénomène de thermosiphon.

Dans des modes de réalisation non représentés, des blocs de remplissage 16 sont agencés dans certains nœuds 27 seulement et non pas dans tous les nœuds 27. Ainsi, par exemple, de tels blocs de remplissage 16 sont disposés dans tous les nœuds 27 adjacents aux bords de la tôle métallique ondulée 24 formant lesdits nœuds 27. Dans un autre exemple, seuls un nœud 27 sur deux ou sur trois le long d'une ondulation 25 et/ou 26 est comblée par un bloc de remplissage 16.

La figure 3 est une vue en perspective schématique de dessous d'un panneau isolant primaire 6 de la barrière d'isolation thermique primaire 5 selon une variante de réalisation du premier mode de réalisation de l'invention. Les éléments identiques ou remplissant la même fonction que ceux décrits ci-dessus présentent les même chiffres de référence.

5 Dans cette variante du premier mode de réalisation de l'invention, les blocs de remplissage 16 sont formés par des plots 20 agencés sur une face externe de la plaque externe 31 des panneaux isolants primaire 6, c'est-à-dire sur la face des plaques externes 31 opposée à la couche de mousse polymère isolante 29 desdits panneaux 6. De tels plots 20 sont réalisés en toute matière adaptée telles que les matières citées ci-dessus pour la
10 réalisation du bloc de remplissage 16 en forme de croix. Sur la figure 3, ces plots prennent la forme d'un bloc de mousse souple à cellule ouverte de forme cylindrique. De tels plots 20 sont fixés sur la plaque externe 31 par tout moyen adapté, par exemple par collage, agrafage, scotch double face ou autre. Cette étape de fixation des plots 20 sur les panneaux isolants primaire 6 peut ainsi avantageusement être réalisée lors de la fabrication desdits panneaux
15 isolants primaire 6, c'est-à-dire préalablement à la fabrication de la cuve.

Les plots 20 sont agencés sur la plaque externe 31 de manière à être insérés dans les nœuds 27 lorsque les panneaux isolants primaire 6 sont positionnés sur la membrane d'étanchéité secondaire 4. Ainsi, la figure 3 illustre de manière schématique les ondulations 25, 26 formant un maillage 21 d'ondulations 25, 26 de la membrane d'étanchéité secondaire
20 4 sous la barrière d'isolation thermique primaire 5. Comme illustré sur la figure 3, les plots 20 sont agencés sur la plaque externe 31 de manière à être chacun situés au niveau d'un nœud 27 formé par le croisement d'ondulations 25 et 26 de la membrane d'étanchéité secondaire 4.

Ainsi, contrairement aux blocs de remplissage 16 sous forme de croix insérés dans les nœuds 27 préalablement à l'installation des panneaux isolants primaire 6 comme décrit ci-dessus en regard de la figure 2, cette variante du premier mode de réalisation ne nécessite
25 pas d'étape d'installation des blocs de remplissage dans les nœuds 27, les plots étant directement insérés dans lesdits nœuds 27 lors du positionnement des panneaux isolants primaire 6 dans la cuve.

La figure 3 illustre quatre plots 20 devant chacun être insérés dans un nœud 27 respectif. Cependant, de façon analogue aux blocs de remplissage 16 et tel qu'expliqué ci-dessus, le nombre et l'agencement desdits plots 20 peut être modifié pour combler tous ou
30 certains seulement des nœuds 27.

La figure 4 est une vue partielle en perspective de la section II-II de la figure 1 selon un deuxième mode de réalisation de l'invention. Les éléments identiques ou remplissant la même fonction que ceux décrits ci-dessus présentent les mêmes chiffres de référence.

Ce deuxième mode de réalisation se différencie du premier mode de réalisation en ce que les sections des ondulations 25, 26 situées entre deux nœuds 27 successifs sont également comblées par une garniture calorifuge. Ainsi, en plus des blocs de remplissage 16 en forme de croix logés dans les nœuds 27, la cuve comporte des barreaux de remplissage 22 logés dans les sections des ondulations 25, 26 situées hors des nœuds 27. De tels barreaux de remplissage 22 peuvent être réalisés en matériaux tels que ceux décrits ci-dessus en regard des blocs de remplissage 16 en forme de croix. Avantageusement, les barreaux de 22 sont fabriqués dans un matériau permettant la circulation de gaz inerte dans les ondulations 25, 26 tout en générant une perte de charge dans des flux de circulation thermique au sein des ondulations 25, 26 évitant la création de thermosiphons par convection dans lesdites ondulations 25, 26.

De même, ces barreaux de remplissage 22 sont dimensionnés de manière à présenter de préférence une section de forme complémentaire aux sections des ondulations 25, 26 afin de d'obstruer les canaux formés par lesdites ondulations 25, 26. Ces barreaux de remplissage 22 peuvent également présenter d'autres formes, par exemple une forme circulaire de manière à être compressés par la plaque externe 31 du panneau isolant primaire 6 disposé au-dessus afin d'occuper une portion importante de la section de l'ondulation 25, 26 correspondante, par exemple au moins 80% de ladite ondulation 25, 26.

Ainsi, selon un mode de réalisation préférentiel illustré sur la figure 5, les barreaux de remplissage 22 sont réalisés sous la forme de barreaux de 5 à 15cm ayant une section correspondant à la section complète de l'ondulation 25, 26 dans laquelle ledit barreau est inséré. Ce barreau est avantageusement réalisé en Polystyrène extrudé de densité 8 à 30 kg/m³. Idéalement, le barreau présente une sur-hauteur de 1 à 2/10e mm correspondant à un écrasement de mise en place et à une légère contraction thermique. Avantageusement, le barreau présente en outre un dentelage 49 de son profil afin que la perte de charge qu'il génère sous des vitesses d'écoulement croissantes soit importante mais que la perte de charge à basse vitesse soit limitée de manière à ne pas obstruer complètement la circulation de gaz dans les ondulations 25, 26.

La figure 6 illustre une vue en coupe d'une ondulation 25 de la membrane d'étanchéité secondaire 4 logée dans une rainure 14 d'un panneau isolant secondaire 2 de la barrière thermiquement isolante secondaire selon la coupe III-III de la figure 1 selon une variante de réalisation du deuxième mode de réalisation de l'invention tel que décrit en regard de la figure 4. . Les éléments identiques ou remplissant la même fonction que ceux décrits ci-dessus présentent les même chiffres de référence. Par ailleurs, la description ci-dessous en regard de la figure 6 pour une ondulation 25 logée dans une rainure 14 s'applique par analogie à une ou plusieurs autres rainures 14 et/ou 15.

Comme illustré sur la figure 6, la rainure 14 traverse intégralement l'épaisseur de la plaque interne 10 et débouche au niveau de la couche de mousse polymère isolante 9. La rainure 14 est dimensionnée de manière à ménager un jeu de positionnement de l'ondulation 25 logée dans ladite rainure 14 lorsque la tôle métallique ondulée 24 correspondante est installée sur le panneau d'isolation secondaire 2 comportant ladite rainure 14. Ce jeu doit également permettre les mouvements relatifs entre l'ondulation et les parois de la rainure 14 engendrés par les différences de contractions et dilatations.

Tout comme les ondulations 25, 26 constituer un maillage de canaux favorisant par convection la formation de thermosiphon dans la barrière d'isolation thermique primaire 5, les rainures 14, 15 forment un maillage dans la barrière d'isolation thermique secondaire 1 formant également un maillage de canaux pouvant être à l'origine d'un tel phénomène de thermosiphon par convection.

Pour éviter cela, la variante du deuxième mode de réalisation diffère de la variante décrite en regard de la figure 4 en ce qu'elle comporte, en plus des blocs de remplissage 16 dans les nœuds 27 et des barreaux de remplissage 22 dans les ondulations 25, 26, un troisième bloc de remplissage 23 disposé dans les rainures 14, 15 des plaques internes 10 des panneaux isolants secondaires 2.

Comme illustré sur la figure 6, ce troisième bloc de remplissage 23 est positionné dans la rainures 14 afin de générer une perte de charge dans la circulation du froid dans le maillage formé par les rainures 14, 15. Ce troisième bloc de remplissage 23 est analogue au bloc de remplissage 16 et au barreau de remplissage 22 et peut être réalisé en de nombreuses matières. De préférence, ce rembourrage est réalisé en mousse souple à cellules ouvertes pour ne pas empêcher la circulation de gaz inerte et/ou la détection de fuites dans la barrière

d'isolation thermique secondaire 1. Ce troisième bloc de remplissage 23 est installé dans la rainure 14 préalablement à l'installation de la tôle métallique ondulée 24 correspondante.

De préférence ce troisième bloc de remplissage 23 est compressible et est compressé par l'ondulation 25 de la tôle métallique ondulée 24 afin de garantir sa bonne
5 répartition dans l'ensemble de la rainure 14. En particulier, il est préférable d'utiliser pour ce troisième bloc de remplissage 23 des matériaux fortement déformables (Polystyrène Expandé à très basse densité ($<10\text{kg/m}^3$), mousse mélamine, mousse polyuréthane souple à basse densité) qui sont écrasés lors de la mise en place de la tôle métallique ondulée 24. Dans un
10 autre mode de réalisation, le troisième bloc de remplissage est réalisé sous forme d'éléments modulables, en résine ou mousse polyuréthane rigide à basse densité par exemples, qui sont déposés dans la rainure 14 juste avant l'installation de la tôle métallique ondulée 24 dont l'ondulation doit être logée dans ladite rainure 14.

La figure 6 illustre l'utilisation du troisième bloc de remplissage 23 au niveau d'une ondulation 25 de la tôle métallique secondaire 24. Cependant, dans le cadre non illustré d'une
15 membrane d'étanchéité primaire 7 présentant des ondulations sortantes 40, c'est-à-dire faisant saillie vers l'extérieur de la cuve et logées dans des rainures correspondantes réalisées dans les plaques internes 31 des panneaux isolants primaires 6, le troisième bloc de remplissage 23 peut être utilisé de façon analogue pour combler des canaux formés par lesdites rainures réalisées dans la plaque interne 31 des panneaux isolants primaires 6

20 La figure 7 représente une vue en coupe d'une paroi de cuve étanche et thermiquement isolante selon un troisième mode de réalisation de l'invention. Les éléments identiques ou remplissant la même fonction que ceux décrits ci-dessus présentent les même chiffres de référence.

Ce troisième mode de réalisation se différencie du deuxième mode de réalisation en
25 ce que les ondulations 25, 26 de la membrane d'étanchéité secondaire 4 ainsi que les ondulations 40 de la membrane d'étanchéité primaire 7 sont des ondulations rentrantes, c'est-à-dire faisant saillie vers l'intérieur de la cuve. Ainsi, les rainures 14, 15 logeant les ondulations 25, 26 de la membrane d'étanchéité secondaire 4 sont formées dans les plaques externes 30 des panneaux isolants primaires 6. En conséquence, le bloc de remplissage 16 et le barreau
30 de remplissage 22 est agencé entre les tôles métalliques ondulées 24 et les plaques internes 10 des panneaux isolants secondaires 2. En outre, le troisième bloc de remplissage 23 est logé dans les rainures 14, 15 pratiquées dans les plaques externes 30 des panneaux isolants

primaires 6 entre lesdits panneaux isolants primaires 6 et les ondulations 25, 26 de la membrane d'étanchéité secondaire 4.

En outre, comme illustré sur la figure 7, le bloc de remplissage 16 et le barreau de remplissage 22 peut également être positionné sous les ondulations 40 de la membrane d'étanchéité primaire 7, entre lesdites ondulations 40 et la plaque interne 31 desdits panneaux isolants primaires 6. Une garniture isolante 51 peut également être positionnée dans des puits réalisés aux coins des panneaux isolants primaires 6 permettant de loger les organes d'ancrages 19. Comme pour les modes de réalisations précédents, il est possible d'installer un bloc de remplissage dans tous ou certains seulement des nœuds et/ou des ondulations de la membrane d'étanchéité secondaire 4 et/ou primaire 7 et/ou des rainures logeant lesdites ondulations.

La figure 8 est une vue partielle en perspective de la cuve étanche et thermiquement isolante dans laquelle la membrane étanche primaire n'est pas illustrée selon un quatrième mode de réalisation de l'invention. Les éléments identiques ou remplissant la même fonction que ceux décrits ci-dessus présentent les même chiffres de référence.

Sur cette figure 8, l'espace 8 entre deux panneaux isolants primaires 6 est illustré par des traits discontinus 28. De façon analogue aux ondulations 25, 26 et aux rainures 14, 15, les espaces 8 entre les panneaux isolants primaires 6 constituent donc un maillage formant des canaux de circulation permettant par convection la circulation du froid vers la membrane d'étanchéité secondaire 4 et la formation de thermosiphon qui sont préjudiciable à l'isolation de la paroi de cuve, en particulier du fait que la membrane d'étanchéité primaire 7 au contact du GNL contenu dans la cuve est portée lesdits panneaux isolants primaires 6.

L'invention selon le quatrième mode de réalisation prévoit l'installation de plaques de couverture anti-convection 34 disposées entre les panneaux isolants primaires 6 adjacents au droit des espaces 8 entre lesdits panneaux isolants primaires adjacents. De telles plaques anti-convection 34 peuvent être réalisées dans de nombreux matériaux. De préférence, ces plaques anti-convection sont réalisées dans des matériaux continus non poreux ou faiblement poreux. Ainsi, les plaques de couverture anti-convection 34 sont par exemples des films en papier, carton ou encore des films synthétiques, plastiques ou autres. De telles plaques anti-convection peuvent être agencées au droits de tous les espaces 8, comme illustré sur la figure 8, ou bien de certains seulement desdits espaces 8.

En regard de la figure 9, la plaque de couverture anti-convection 34 se développe le long des panneaux isolants primaires 6 au droit de l'espace 8 entre lesdits panneaux isolants primaires 6. Un bord interne de la plaque interne 31 desdits panneaux isolants primaires 6 comporte un lamage 35 dans lequel est logé un bord 36 correspondant de la plaque de
5 couverture anti-convection 34 de sorte que la plaque de couverture anti-convection 34 affleure avec la face interne de ladite plaque interne 31. Ainsi, la plaque de couverture anti-convection 34 recouvre l'espace 8 et sépare l'espace 8 de la membrane d'étanchéité primaire 7, empêchant la formation de canaux présentant des températures différentes susceptibles de générer un phénomène de thermosiphon dans le maillage formé par les espaces 8 d'une paroi
10 de cuve.

De préférence, la plaque anti-convection est réalisée en matériau étanche d'une épaisseur comprise entre 0.2mm et 2mm, Ce matériau étanche est par exemple un matériau plastique (PEI, PVC, ...), du carton, du papier épais plastifié, un panneau de fibres ou autre.

La plaque de couverture anti-convection 34 présente une largeur choisie afin que la
15 plaque anti-convection repose dans les lamages 35 sur une assise minimale, par exemple d'au moins 10mm, pour tout état de contraction des plaques internes 31 et de ladite plaque de couverture anti-convection 34. Autrement dit, la plaque de couverture anti-convection 34 est dimensionnée de sorte que ses bords 36 soient logés dans les lamages 35 y compris lorsque la cuve est pleine de GNL. Pour cela, un des bords 36 de la plaque anti-convection
20 peut partiellement sortir du lamage 35 afin de recouvrir la plaque interne 31 hors du lamage 35 afin de s'assurer que ledit bord 36 demeure logé dans le lamage dans son état contracté. Les bords 36 de la plaque de couverture anti-convection 34 sont agrafés ou collés sur l'un des deux panneaux isolants primaire 6 dans le lamage 35.

Comme illustré sur la figure 8, la barrière d'isolation thermique primaire 5 comporte
25 une pluralité de plaques de fermeture 38 permettant de compléter la surface d'appui de la membrane d'étanchéité primaire 7 au niveau de puits permettant de loger les organes d'ancrages 19 de la barrière thermiquement isolante primaire 5. Ces puits étant disposés dans le prolongement des espaces 8 entre les panneaux isolants primaires 6, les plaques de couverture anti-convection 34 peuvent être interrompues au niveau desdites plaques de
30 fermetures 38. De préférence dans ce cas, les plaques de couverture anti-convection 34 sont jointives desdites plaques de fermetures 38 de manière à limiter la présence de passages entre la membrane d'étanchéité primaire 7 et les espaces 8. De préférence, les plaques de

couverture anti-convection 34 et les plaques de fermeture 38 affleurent avec les plaques internes 31 des panneaux isolants primaires 6 afin de former une surface plane continue pour la membrane d'étanchéité primaire 7.

5 Dans une variante de réalisation non illustrée, les plaques anti-convection 34 recouvrent au moins partiellement les plaques de fermeture 38. Les extrémités des plaques de couverture anti-convection 34 sont par exemple logées dans des lamages (non illustrés) prévus dans les plaques de fermeture 38 afin que les plaques de fermetures 38 et les plaques anti-convection 34 affleurent avec les plaques internes 31 des panneaux isolants primaires 6.

10 Dans une autre variante, les plaques anti-convection 34 sont continues et recouvrent intégralement les plaques de fermetures 38. De préférence, les plaques de couverture anti-convection 34 affleurent avec les plaques internes 31 des panneaux isolants primaires 6.

Dans une autre variante préférée, les plaques de couverture anti-convection 34 sont continues et recouvrent intégralement les plaques de fermetures 38. De préférence, les plaques de couverture anti-convection 34 affleurent avec les plaques internes 31 des
15 panneaux isolants primaires 6, y compris lorsqu'elles passent au-dessus des plaques de fermetures 38.

Dans une autre variante de réalisation illustrée schématiquement sur la figure 17, les plaques anti-convection 34 présentent une forme de « L », c'est-à-dire qu'une même plaque de couverture anti-convection 34 recouvre deux bords jointifs de la plaque interne 30 d'un
20 même panneau isolant primaire 6 et est donc situé au droit des espaces 8 formés par ledit panneau isolant primaire 6 et deux panneaux isolants primaires 6 adjacents. Les plaques internes 31 des panneaux isolants primaires 6 accueillent ainsi deux plaques de couverture anti-convection de telle manière que de proche en proche les espaces 8 soient tous obstrués.

Dans une variante de ce quatrième mode de réalisation illustrée sur la figure 10, la
25 plaque de couverture anti-convection 34 est repliée de sorte qu'une portion centrale 41 de la plaque de couverture anti-convection 34 reliant les deux rebords 36 est logée dans l'espace 8 séparant les panneaux isolants primaires 6 adjacents. En variante, le deuxième bord de la plaque de couverture 34 pourrait s'appuyer le long de la face latérale du deuxième panneau isolant primaire 6 sans ressortir de l'espace 8.

30 Les figures 11 à 15 illustrent différentes variantes d'un cinquième mode de réalisation de l'invention.

Ce cinquième mode de réalisation diffère du quatrième mode de réalisation illustré sur les figures 8 à 10 en ce que la plaque de couverture anti-convection 34 est remplacée par une bande de remplissage anti-convection 37 logée dans l'espace 8. Les éléments identiques ou remplissant la même fonction que ceux décrits ci-dessus présentent les mêmes chiffres de référence. Une telle bande anti-convection est de préférence compressible. Cette bande anti-convection est insérée dans l'espace 8 entre les panneaux isolants primaires 6 après l'installation desdits panneaux isolants primaires 6 sur la membrane d'étanchéité secondaire 4. Pour cela, la bande anti-convection est si nécessaire comprimée dans son épaisseur afin d'être insérée entre les panneaux isolants primaires 6, éventuellement en force.

Cette bande de remplissage anti-convection 37 peut être réalisée de nombreuses manières. Dans un exemple de réalisation qui ne fait pas partie de l'invention, la bande de remplissage anti-convection 37 peut être réalisée dans un matériau poreux inséré en force dans l'espace 8 afin d'avoir une précontrainte importante permettant de combler les modifications de dimensions de l'espace 8. Une telle bande de remplissage anti-convection 37 en matériau poreux est particulièrement adaptée pour les espaces 8 de grandes dimensions, par exemple comprises entre 10mm et 100mm. Un tel matériau poreux peut par exemple être de la laine de verre, idéalement constitué de couches superposées.

Cependant, comme expliqué ci-dessus en regard de la figure 1, l'espace 8 entre deux panneaux isolants primaires 6 peut être relativement étroit, typiquement de l'ordre de 4mm plus ou moins 3 mm. Un tel espace réduit ne peut pas être comblé de façon fiable par l'insertion d'une garniture isolante en très fine épaisseur contrairement aux interstices 12 entre les panneaux isolants secondaires 2. En effet, la rugosité des panneaux isolants primaires 6 pourrait dégrader une telle garniture isolante en très fine épaisseur lors de son insertion. Cette rugosité est, entre autres, liée à la présence de fibres de verre dans la couche de mousse isolante 29 des panneaux isolants primaires 6. Ainsi, dans une solution qui ne fait pas partie de l'invention, des feuilles de matériaux étanches (non illustrées) sont incorporées entre les couches de laine de verre, afin de scinder le volume global de la bande de remplissage anti-convection 37 en couches distinctes ne subissant qu'un gradient thermique modeste et présentant une résistance suffisante pour permettre l'insertion de la bande de remplissage anti-convection 37 sans dégradation dans l'espace 8.

La figure 11 illustre une réalisation de la bande de remplissage anti-convection 37. La bande de remplissage anti-convection 37 présente une structure multicouche comportant

un cœur compressible 42. Ainsi, sur la figure 11 illustrant un exemple de réalisation de ce cinquième mode de réalisation, la bande de remplissage anti-convection 37 comporte deux feuilles 43 comportant chacune un rebord 44 logé dans un lamage 35 respectif des panneaux isolants primaire 6. Ce rebord 44 est agrafé dans le lamage 35 permettant ainsi auxdits rebords 5 44 de rester dans les lamages 35 y compris lors de modification des dimensions de l'espace 8 entre les panneaux isolants primaires 6, par exemple lors de contraction liées à l'insertion de GNL dans la cuve.

Chaque feuille 43 se développe dans l'espace 8 entre les panneaux isolants primaire 6 le long desdits panneaux isolants primaires 6 depuis le lamage 35 en direction de la 10 membrane d'étanchéité secondaire 4. Les deux feuilles 43 sont reliées par le cœur compressible 42 logé dans l'espace 8 entre les panneaux isolants primaires 6. Les feuilles 43 et le cœur compressible 42 sont en matériaux étanche, par exemple un matériau plastique (PEI, PVC, ...), du carton, du papier épais plastifié ou autre. Ces feuilles 43 et le cœur compressible 42 peuvent ainsi être insérées les long des panneaux isolants primaires 6 sans 15 être dégradées par la rugosité desdits panneaux 6, y compris dans les cas d'un espace 8 étroit.

Le cœur compressible 42 de la bande de remplissage anti-convection 37 peut être réalisé de nombreuses manières. Dans l'exemple illustré sur les figures 11 et 12, le cœur compressible 42 comporte une structure en nid d'abeille constitué d'une rangée d'alvéoles se 20 développant le long de chacune des feuilles 43 dans l'espace 8 entre les panneaux isolants primaires 6, chaque alvéole étant fixée auxdites deux feuilles 43 afin de lier structurellement lesdites feuilles 43. D'autres exemples de cœurs compressibles 42 sont illustrés en regard des figures 13 et 14.

Les figures 12 à 13 illustrent une variante de réalisation de la bande de remplissage 25 anti-convection 37. Cette variante se différencie en ce que les feuilles 43 de la bande de remplissage anti-convection 37 ne comportent pas de rebord 44 et que les panneaux isolants primaires 6 ne comportent pas de lamages 35. Ainsi, la bande de remplissage anti-convection 37 est directement logée et se développe dans l'espace 8 entre les panneaux isolant primaires 6.

30 Dans l'exemple illustré sur la figure 13, le cœur compressible 42 est formé d'une pluralité de tube 46 espaçant les deux feuilles 43 et se développant dans l'espace 8 le long des panneaux isolant primaires 6.

Dans l'exemple illustré sur la figure 14, le cœur compressible 42 est constitué d'une pluralité d'entretoise 47 se développant entre les deux feuilles 43 et délimitant une pluralité d'alvéoles à section rectangulaire 48 se développant dans l'espace 8 le long des panneaux isolants primaires 6.

5 La figure 15 illustre une variante de réalisation de la bande de remplissage anti-convection 37. Cette variante se différencie en ce que la bande de remplissage anti-convection 37 n'est pas une structure multicouche mais une simple feuille ondulée 45. Une telle la feuille ondulée 45 sépare l'espace 8 entre les panneaux isolants primaires 6 en une pluralité d'alvéoles se développant de façon continue le long desdits panneaux 6.

10 La forme de contour des panneaux isolants primaires 6 et panneaux isolants secondaires 2 décrits ci-dessus est généralement rectangulaire, mais d'autres formes de contour sont possibles, notamment des formes hexagonales pour couvrir des parois planes ou des formes de contour adaptées, éventuellement irrégulières, pour couvrir des zones spéciales de la cuve.

15 En référence à la figure 16, 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 membrane d'étanchéité primaire destinée à être en contact avec le 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
20 barrières 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.

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

 La figure 16 représente un exemple de terminal maritime comportant un poste de chargement et de déchargement 75, une conduite sous-marine 76 et une installation à terre 77. Le poste de chargement et de déchargement 75 est une installation fixe off-shore
30 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
5 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
10 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 comprend tous les équivalents techniques des moyens décrits ainsi que leurs combinaisons si celles-ci entrent
15 dans le cadre de l'invention, telle que définie par les revendications.

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.

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