# PAROI DE CUVE COMPORTANT UNE MEMBRANE D'ETANCHEITE PRESENTANT UNE ONDULATION AYANT UNE PORTION CURVILIGNE RENFORCEE

## Domaine technique

L'invention se rapporte au domaine des cuves étanches à membrane d'étanchéité ondulée, pour le stockage et/ou le transport d'un fluide, tel que du gaz liquéfié.

Des cuves étanches à membranes sont notamment employées pour le stockage de gaz naturel liquéfié (GNL), qui est stocké, à pression atmosphérique, à environ -163°C ou pour le stockage de Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL). Ces cuves peuvent être installées à terre ou sur un ouvrage flottant. Dans le cas d'un ouvrage flottant, la cuve peut être destinée au transport de gaz liquéfié ou à recevoir du gaz liquéfié servant de carburant pour la propulsion de l'ouvrage flottant.

## Arrière-plan technologique

Dans l'état de la technique, il est connu des cuves à membrane d'étanchéité ondulée dont la membrane d'étanchéité, destinée à être en contact avec le gaz liquéfié contenu dans la cuve, est renforcée à l'aide d'éléments de renfort. Les éléments de renfort sont disposés sous les ondulations de la membrane d'étanchéité, entre ladite membrane d'étanchéité et la barrière thermiquement isolante supportant cette membrane d'étanchéité. De tels éléments de renfort permettent de diminuer les contraintes qui sont susceptibles d'être causées, dans la membrane d'étanchéité, par une multitude de facteurs, dont la rétraction thermique lors de la mise à froid de la cuve, l'effet de flexion de la poutre du navire, et la pression dynamique due au mouvement de la cargaison, notamment en raison de la houle. Ces éléments de renfort sont généralement creux afin de permettre à du gaz de circuler entre les ondulations et la barrière thermiquement isolante en traversant les éléments de renfort. De telles cuves sont notamment décrites dans les documents FR2936784, FR2963818 ou FR3039248.

Les éléments de renfort divulgués dans les documents précités sont généralement réalisés à partir de profilés rectilignes et sont donc placés dans les portions rectilignes des ondulations.

La demanderesse a toutefois constaté qu'il existait également un besoin de renforcer les portions curvilignes des ondulations. De telles portions curvilignes des ondulations sont notamment présentes dans des zones spécifiques de la cuve, par exemple dans une zone d'angle entre deux parois, dans la zone d'un pied de support destiné à assurer un guidage d'une tour de chargement/déchargement ou dans la zone d'un dôme destiné à évacuer du gaz ou du liquide.

**Résumé**

Une idée à la base de l'invention est de proposer une paroi de cuve étanche et thermiquement isolante comportant une membrane d'étanchéité équipée d'une ondulation présentant une portion curviligne et comportant en outre un dispositif curviligne de renfort qui soit simple à réaliser et qui permette de renforcer de manière fiable ladite portion curviligne.

Selon un mode de réalisation, l'invention fournit une paroi de cuve comportant une barrière thermiquement isolante et une membrane d'étanchéité reposant sur la barrière thermiquement isolante, la membrane d'étanchéité comportant une ondulation présentant une portion curviligne se développant selon une direction curviligne et au moins un dispositif curviligne de renfort agencé à l'intérieur de la portion curviligne, entre la membrane d'étanchéité et la barrière thermiquement isolante de manière à renforcer ladite portion curviligne, ledit dispositif curviligne de renfort comportant une pluralité de tronçons de renfort qui présentent chacun une forme profilée se développant selon une direction rectiligne, le dispositif curviligne de renfort comportant en outre un organe de liaison reliant lesdits tronçons de renfort de manière à les maintenir dans une position dans laquelle, en projection dans un plan parallèle à la paroi de cuve, la direction rectiligne de chacun des tronçons de renfort est orientée tangentiellement à la direction curviligne.

Ainsi, la portion curviligne de l'ondulation est renforcée au moyen d'un dispositif curviligne de renfort qui est susceptible d'assurer un support fiable et ceci au moyen de tronçons de renfort qui présentent une forme profilée rectiligne et qui

sont par conséquent plus simples à réaliser que des éléments de renforts qui seraient formés dans un profilé curviligne.

Selon d'autres modes de réalisation avantageux, une telle paroi de cuve peut présenter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes.

Selon un mode de réalisation chaque tronçon de renfort comporte une ouverture au travers de laquelle est emboîté l'organe de liaison.

Selon un mode de réalisation, chaque tronçon de renfort comporte une semelle reposant contre la barrière thermiquement isolante.

Selon un mode de réalisation, chaque semelle comporte deux parois latérales et une paroi inférieure plane qui repose contre la barrière thermiquement isolante et qui relie les deux parois latérales, ladite ouverture étant définie par les parois latérales et la paroi inférieure. Ainsi avec une telle semelle, les efforts induits par de la houle de la cargaison sont répartis de façon plus uniforme sur la barrière isolante.

Selon un mode de réalisation, l'organe de liaison est un rail qui présente une partie curviligne s'étendant selon la direction curviligne de la portion curviligne et qui présente un bord interne curviligne et un bord externe curviligne présentant une plus grande courbure que celle du bord interne curviligne.

Selon un mode de réalisation, l'un des bords interne curviligne et externe curviligne comporte une alternance de saillies et de creux formant un crénelage, chaque saillie étant logée dans l'ouverture de l'un des tronçons de renfort. Ainsi, les creux entre les saillies permettent de créer des jeux facilitant la mise en place des tronçons de renfort dans la partie curviligne de l'organe de liaison. Selon un mode de réalisation, le crénelage est ménagé dans le bord interne curviligne du rail. Selon un autre mode de réalisation, le crénelage est ménagé dans le bord externe curviligne du rail.

Selon un mode de réalisation, au moins l'un des tronçons de renfort présente une enveloppe creuse et des voiles de renfort sécants qui s'étendent à l'intérieur de l'enveloppe creuse d'un bord à l'autre de ladite enveloppe creuse. Ceci permet d'augmenter la rigidité des tronçons de renfort.

Selon un mode de réalisation, les voiles de renfort se croisent dans un plan de symétrie du tronçon de renfort.

Selon un mode de réalisation, chaque tronçon de renfort comporte deux voiles de renfort disposés en forme de X.

Selon un mode de réalisation, chaque tronçon de renfort comporte une portion de support qui présente une forme adaptée à la forme intérieure de l'ondulation. Selon un mode de réalisation, la portion de support présente une forme extérieure de dôme semi-elliptique.

Selon un mode de réalisation, la portion curviligne présente un bord curviligne interne et un bord curviligne externe présentant une courbure plus grande que le bord curviligne interne, au moins l'un des tronçons de renfort présentant deux extrémités qui sont chacune inclinées par rapport à la direction rectiligne dudit tronçon de renfort de manière à ce que ledit tronçon de renfort s'élargisse du bord curviligne interne vers le bord curviligne externe de la portion curviligne.

Selon un mode de réalisation, les tronçons de renfort au niveau du bord curviligne interne sont accolés.

Selon un mode de réalisation, les deux extrémités du tronçon de renfort s'étendent chacun dans un plan qui est orthogonal à une tangente à la direction curviligne, à l'intersection entre ledit plan et la direction curviligne.

Selon un mode de réalisation, les deux extrémités dudit tronçon de renfort s'étendent chacune dans un plan parallèle à la direction d'épaisseur de la paroi de cuve.

Selon un mode de réalisation, les angles formés par le plan de deux extrémités de chaque tronçon de renfort par rapport à la direction rectiligne dudit tronçon de renfort sont de même valeur et de sens opposés.

Selon un mode de réalisation, l'ondulation comporte deux portions rectilignes disposées de part et d'autre de la portion curviligne, dans le prolongement de celle-ci, un élément de renfort étant disposé dans chacune des deux portions rectilignes, entre la membrane d'étanchéité et la barrière thermiquement isolante, l'organe de

liaison étant emboîté dans une ouverture ménagée dans au moins l'un des éléments de renfort.

Selon un mode de réalisation, la portion curviligne est disposée à proximité d'une zone d'angle de ladite paroi de cuve.

Selon un autre mode de réalisation, la portion curviligne est disposée à proximité d'une zone singulière de ladite paroi de cuve dans laquelle la planéité de la membrane d'étanchéité est interrompue. Selon un mode de réalisation, la zone singulière comporte un pied de support destiné à assurer un guidage d'une tour de chargement/déchargement. Selon un autre mode de réalisation, la zone singulière comporte un dôme destiné à évacuer du gaz ou du liquide.

Selon un mode de réalisation, l'invention fournit aussi une cuve comportant une paroi de cuve précitée.

Selon un mode de réalisation, l'invention fournit aussi un navire comportant une structure porteuse et une cuve précitée ancrée dans ladite structure porteuse.

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.

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 entrainer un fluide à travers les canalisations isolées depuis ou vers l'installation de stockage flottante ou terrestre vers ou depuis la cuve du navire.

**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.

- **La figure 1** est une vue partielle schématique d'une portion d'une paroi d'une cuve étanche et thermiquement isolante dans laquelle la membrane d'étanchéité est représentée en écorchée.

- **La figure 2** est une vue en perspective illustrant notamment une portion curviligne d'une ondulation et par transparence un dispositif de renfort curviligne destiné à renforcer ladite portion curviligne.

- **La figure 3** est une vue de dessus de la portion curviligne de l'ondulation et du dispositif de renfort curviligne de la figure 2.

- **La figure 4** est une vue en perspective illustrant des éléments de renfort destinés à être disposé dans des portions rectilignes des ondulations et un dispositif de renfort curviligne destiné à être disposé dans une portion curviligne d'une ondulation.

- **La figure 5** est une vue en coupe d'un élément de renfort d'onde ou d'un tronçon de renfort destiné à être disposé dans une ondulation basse.

- **La figure 6** est une vue en coupe d'un élément de renfort ou d'un tronçon de renfort destiné à être disposé dans une ondulation haute.

- **La figure 7** est une vue en perspective illustrant de manière détaillée l'organe de liaison du dispositif de renfort curviligne illustré sur les figures 2 à 4.

- **La figure 8** est une représentation schématique écorchée d'une cuve de navire méthanier et d'un terminal de chargement/déchargement de cette cuve.

**Description détaillée de modes de réalisation**

En relation avec la figure 1, l'on décrit une paroi 1 pour une cuve étanche et thermiquement isolante destinée au stockage d'un gaz liquéfié. Le gaz liquéfié peut notamment être un Gaz Naturel Liquéfié (GNL) ou un Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL).

Chaque paroi 1 comporte une structure multicouche qui présente successivement, de l'extérieur vers l'intérieur, selon la direction d'épaisseur de la paroi, au moins une barrière thermiquement isolante primaire 2 reposant directement ou indirectement contre une structure porteuse, non illustrée sur la figure 1, et une membrane d'étanchéité primaire 3 destinée à être en contact avec le gaz liquéfié

contenu dans l'espace intérieur de la cuve. De manière optionnelle, chaque paroi 1 peut en outre comporter une barrière thermiquement isolante secondaire reposant contre la structure porteuse et une membrane d'étanchéité secondaire ancrée sur la barrière thermiquement isolante secondaire et contre laquelle repose la barrière thermiquement isolante primaire.

La structure porteuse est par exemple formée par la double coque d'un navire mais peut plus généralement être formée de tout type de cloison rigide présentant des propriétés mécaniques appropriées.

Sur la figure 1, la barrière thermiquement isolante primaire 2 comporte une pluralité d'éléments calorifuges 4 qui sont ancrés à la structure porteuse, soit directement soit en étant ancré à une barrière thermiquement isolante secondaire, elle-même ancrée à la structure porteuse. Les éléments calorifuges 4 sont juxtaposés les uns aux autres et forment conjointement une surface plane de support sur laquelle est ancrée la membrane d'étanchéité primaire 3. Afin d'assurer l'ancrage de la membrane d'étanchéité primaire 3 aux éléments calorifuges 4, chaque élément calorifuge 4 est équipé de platines métalliques 5 pour l'ancrage du bord des tôles métalliques de la membrane d'étanchéité primaire 3. Les platines métalliques 5 s'étendent selon deux directions perpendiculaires l'une à l'autre. Chaque élément calorifuge 5 comporte une couche de mousse polymère 6 et au moins une plaque interne 7, rigide, par exemple en bois contreplaqué, qui est fixée sur la couche de mousse polymère 6.

Les platines métalliques 23 sont mises en place dans des évidements ménagés sur la surface interne de la plaque interne 7 de telle sorte que la surface interne des platines métalliques 23 affleure la surface interne de la plaque interne 7.

La membrane d'étanchéité primaire 3 comporte une pluralité de tôles métalliques ondulées qui sont soudées à recouvrement les unes aux autres de manière étanche et soudées sur les platines métalliques 23 de manière à ancrer la membrane d'étanchéité primaire 3 sur la barrière thermiquement isolante primaire 2.

Chaque tôle métallique comporte une première série d'ondulations parallèles, dîtes ondulations hautes 8, et une deuxième série d'ondulations parallèles, dîtes ondulations basses 9, qui s'étendent perpendiculairement aux ondulations 8 de

la première série. Notons que les termes «haute» et «basse» ont un sens relatif et signifient que les ondulations 9, dîtes basses, présentent une hauteur inférieure aux ondulations 8, dîtes hautes. En outre, dans un mode de réalisation non représenté, les ondulations 8, 9 présentent des hauteurs identiques.

Au niveau de chaque croisement entre deux ondulations 8, 9, la membrane d'étanchéité primaire 3 comporte une zone de nœud 10. La zone de nœud 10 comporte une portion centrale 11 présentant un sommet en saillie vers l'intérieur de la cuve. Par ailleurs, la portion centrale 11 est bordée, d'une part, par une paire d'ondulations concaves 12 formées dans la crête de l'ondulation haute 8 et, d'autre part, par une paire de renfoncements 13 dans lesquels pénètre l'ondulation basse 9.

Les ondulations 8, 9 des tôles métalliques permettent à la membrane d'étanchéité primaire 3 d'être flexible afin de pouvoir se déformer sous l'effet des sollicitations thermiques et mécaniques générées par le gaz liquéfié emmagasiné dans la cuve.

A titre d'exemple, les tôles métalliques ondulées peuvent notamment être réalisées en acier inoxydable, en aluminium, en invar ®, c'est-à-dire un alliage de fer et de nickel dont le coefficient de dilatation est typiquement compris entre $1,2.10^{-6}$ et $2.10^{-6}$ $K^{-1}$, ou dans un alliage de fer à forte teneur en manganèse dont le coefficient de dilatation est typiquement de l'ordre de $7.10^{-6}$ $K^{-1}$. Toutefois, d'autres métaux ou alliages sont également envisageables. A titre d'exemple, la tôle métallique présente une épaisseur d'environ 1,2 mm. D'autres épaisseurs sont également envisageables, sachant qu'un épaississement de la tôle métallique entraine une augmentation de son coût et accroît généralement la rigidité des ondulations.

Comme représenté sur la figure 1, la paroi de cuve 1 comporte une pluralité d'éléments de renfort 14, 15 qui sont agencés à l'intérieur des ondulations 8, 9 et disposés entre la membrane d'étanchéité primaire 3 et la barrière thermiquement isolante primaire 2. De tels éléments de renfort 14, 15 visent à soutenir et renforcer les ondulations 8, 9 de la membrane d'étanchéité primaire 3.

Chaque élément de renfort 14, 15 comporte une enveloppe creuse qui constitue le corps principal de l'élément de renfort 14, 15 et qui est insérée dans une ondulation 8, 9 de la membrane d'étanchéité primaire 3. Chaque élément de renfort

14, 15 présente une forme profilée de section constante. Toutefois, les deux extrémités longitudinales 16, 17 de chaque élément de renfort 14 destiné à être disposé dans l'une des ondulations hautes 8 sont coupées selon un plan incliné par rapport à l'axe longitudinal dudit élément de renfort 14. Les deux extrémités longitudinales 18, 19 des éléments de renfort 15 destinés à être disposés dans les ondulations basses 9 peuvent quant à elles être coupées orthogonalement à la direction longitudinale desdits éléments de renfort 15.

Chaque élément de renfort 14, 15 peut être fabriqué selon toute longueur souhaitée. La longueur de l'élément de renfort 14, 15 est de préférence sensiblement égale à l'intervalle inter-ondulation entre les ondulations qui coupent l'ondulation dans laquelle ledit élément de renfort 14, 15 est inséré. Plus précisément, pour les éléments de renfort 14 destinés à renforcer les ondulations hautes 8, la longueur de l'enveloppe creuse au sommet est par exemple égale à la longueur de la portion de l'ondulation haute qui présente une section uniforme entre deux zones de nœud 11. Cette portion à section uniforme s'arrête lorsque l'ondulation haute 8 présente un léger étranglement latéral marquant le début de la zone de nœud 11. Par ailleurs, l'inclinaison des extrémités longitudinales 16, 17 des éléments de renfort 14 creuse correspond sensiblement à l'inclinaison de cet étranglement latéral, de sorte que l'enveloppe creuse desdits éléments de renfort s'approche le plus près possible de la zone de nœud 11 pour optimiser le soutien de l'ondulation haute 8.

A titre d'exemple, les éléments de renfort 14, 15 sont réalisés en métal, tel que l'aluminium ou un alliage ou en matériau polymère, tel que le polyéthylène, le polycarbonate ou le polyéther imide, avantageusement renforcé par des fibres, tels que des fibres de verre.

Les figures 5 et 6 représentent respectivement la section d'un élément de renfort 15, 14 destiné à renforcer une ondulation basse 9 et une ondulation haute 8. Comme représenté sur ces figures, l'enveloppe creuse comporte une semelle 20, inférieure, et une portion de support 21, supérieure.

La portion de support 21 peut être réalisée selon diverses géométries, comme illustré par exemple dans le document FR2936784, en fonction notamment de la géométrie des ondulations 8, 9 de la membrane d'étanchéité primaire 3. De préférence, la forme extérieure de la portion de support 21 est adaptée à la forme

intérieure de l'ondulation 8, 9 dans laquelle l'élément de renfort 14, 15 est inséré, de manière à offrir un soutien efficace de sensiblement toute la surface de l'ondulation 8, 9. Dans le mode de réalisation représente, la forme extérieure de la section de la portion de support 21 est un dôme semi-elliptique. Si l'élément de renfort 14, 15 est fait d'un matériau ayant un comportement thermique différent de la membrane d'étanchéité primaire 3, son dimensionnement doit tenir compte de cette différence pour supporter efficacement l'ondulation 8, 9 à la température d'utilisation, par exemple environ -162°C pour le Gaz Naturel Liquéfié.

Par ailleurs, la semelle 20 présente une paroi inférieure 22 qui est plane et qui repose ainsi contre la plaque interne 7 des éléments calorifuges 5 et deux parois latérales 24, 25 qui sont reliées l'une à l'autre par la paroi inférieure 22. Les deux parois latérales 24, 25 sont prolongées vers le haut par la portion de support 21. La paroi inférieure 22 et les parois latérales 24, 25 définissent une ouverture 26 traversant l'élément de renfort 14, 15 selon la direction longitudinale dudit élément de renfort 14, 15 et dans laquelle est destiné à venir s'emboîter un organe de liaison décrit par la suite.

La portion de support 21 comporte des voiles de renfort 27, 28 sécants qui s'étendent d'un bord à l'autre de l'enveloppe creuse et qui se croisent au niveau d'un plan de symétrie A de l'élément de renfort 14, 15. Dans le mode de réalisation représenté, la portion de support 21 comporte deux voiles de renfort 27, 28 disposés en forme de X.

Par ailleurs, en revenant à la figure 1, on observe que les éléments de renfort 14, 15 sont liés les uns aux autres par des organes de liaison 29. De tels organes de liaison 29 permettent d'aligner de façon stable les éléments de renfort 14 destinés à être disposés dans les ondulations hautes 8, d'une part, et/ou les éléments de renfort 15 destinés à être disposés dans les ondulations basses 9, d'autre part.

Chaque organe de liaison 29 est constitué par un rail 30 qui est disposé au regard d'une zone de nœud 11 de la membrane d'étanchéité primaire 3. Le rail 30 comporte deux extrémités 31, 32 qui sont respectivement emboîtées à l'intérieur d'une ouverture 26 ménagée dans la semelle 20 de l'un et l'autre des deux éléments de renfort 14 disposés dans l'ondulation haute 8, 9 de part et d'autre de ladite zone de nœud 11.

Par ailleurs, dans le mode de réalisation représenté, une entretoise 33 permettant de soutenir la partie basse de l'ondulation haute 8 est disposée dans le prolongement de chacune des extrémités longitudinales 16, 17 des éléments de renfort 14. Chaque entretoise 33 est creuse et comporte une paroi inférieure, une paroi supérieure et deux parois latérales reliant la paroi supérieure et la paroi inférieure. La paroi inférieure de l'entretoise 33 s'étend dans le prolongement de la paroi inférieure 22 de la semelle 20 de l'élément de renfort 14 adjacent. En outre, le bord des parois latérales de chaque entretoise 33 qui est en regard de l'extrémité longitudinale 16, 17 de l'élément de renfort 14 adjacent est biseauté de manière à venir se plaquer contre l'extrémité biseautée de l'élément de renfort 14.

Par ailleurs, de manière avantageuse, la rail 30 présente une forme de croix de manière à définir deux pattes opposées 34, 35 qui sont respectivement emboîtées dans une ouverture 26 ménagée dans l'un et l'autre des éléments de renfort 15 disposés dans l'ondulation basse 9, de part et d'autre de la zone de de nœud 11.

En relation avec les figures 2 à 4 et 7, on décrit désormais une zone de la membrane d'étanchéité primaire 3 dans laquelle l'une des ondulations 8 présente une portion curviligne 36 et dans laquelle un dispositif de renfort curviligne 37 est disposé à l'intérieur de ladite portion curviligne 36 afin de la renforcer.

Les figures 2 et 3 représentent une zone d'angle entre deux parois de la cuve. La membrane d'étanchéité primaire 3 de l'une des parois présente ici une portion curviligne 36 s'étendant selon une direction curviligne d1. La direction curviligne d1 correspond plus particulièrement à la direction du sommet de l'ondulation dans ladite portion curviligne 36.

La portion curviligne 36 est ménagée dans une pièce de jonction 38 qui est soudée à recouvrement avec des plaques métalliques, parallélépipédique, tels qu'illustrés sur la figure 1. La pièce de jonction 38 est également soudée à recouvrement avec une pièce d'angle 39. La pièce d'angle 39 comporte deux ailes 40, 41 qui sont respectivement parallèles à l'une et à l'autre des parois adjacentes. La pièce d'angle 40 est ondulée et permet ainsi d'assurer une continuité des ondulations de la membrane d'étanchéité primaire 3 dans la zone d'angle entre les deux parois. La portion curviligne 36 permet ainsi d'assurer une déviation de

l'ondulation. Un tel agencement est notamment susceptible de se rencontrer dans une cuve de forme générale polyédrique présentant deux parois de cofferdam de forme octogonale et reliées l'une à l'autre par huit parois s'étendant selon la direction longitudinale de la cuve, à savoir une paroi de fond et une paroi de plafond horizontales, deux parois latérales verticales, deux parois obliques supérieures reliant chacune l'une des parois latérales à la paroi de plafond ; et deux parois obliques inférieures reliant chacune l'une des parois latérales à la paroi de fond. Plus précisément, la membrane d'étanchéité primaire 3 comporte de telles portions curvilignes 36 sur les parois de cofferdam au niveau de la zone d'angle desdites parois de cofferdam avec les parois obliques supérieures et inférieures.

Un dispositif de renfort curviligne 37, illustré de manière détaillé sur les figures 3 et 4, est agencé à l'intérieur de la portion curviligne 36 entre la membrane d'étanchéité primaire 3 et la barrière thermiquement isolante primaire 2. Le dispositif de renfort curviligne 36 comporte une pluralité de tronçons de renfort 42, 43, 44 et un organe de liaison 45 reliant lesdits tronçons de renfort 42, 43, 44 de sorte à assurer leur positionnement. Dans le mode de réalisation représenté, le dispositif de renfort curviligne 37 comporte trois tronçons de renfort 42, 43, 44. Toutefois, dans d'autres modes de réalisation, le dispositif de renfort curviligne 37 peut ne comporter que deux tronçons de renfort ou présenter un nombre de tronçons de renfort supérieur ou égal à trois.

Les tronçons de renfort 42, 43, 44 sont réalisés en métal, tel que l'aluminium ou un alliage ou en matériau polymère, tel que le polyéthylène, le polycarbonate ou le polyéther imide, avantageusement renforcé par des fibres, tels que des fibres de verre.

Chaque tronçon de renfort 42, 43, 44 comporte une enveloppe creuse et présente une forme profilé qui se développe selon une direction rectiligne d2, d3, d4. La direction rectiligne d2, d3, d4 des tronçons de renfort 42, 43, 44 correspond à la direction de la fibre neutre desdits tronçons de renforts 42, 43, 44. Chacun des tronçons de renfort 42, 43, 44 est avantageusement obtenu par découpage d'un profilé rectiligne à section constante.

Dans le mode de réalisation représenté, la portion curviligne 36 est disposée dans le prolongement d'une ondulation haute 8 et présente ainsi une section

sensiblement similaire à celle d'une ondulation haute 8. Aussi, la section de chaque tronçon de renfort 42, 43, 44 est identique à la section, représentée sur la figure 6, des éléments de renfort 15 destinées à être positionnées à l'intérieur des ondulations hautes 8. Toutefois, dans d'autres modes de réalisation non représentés, la portion curviligne 36 est disposée dans le prolongement d'une ondulation basse 9 et présente ainsi une section sensiblement similaire à celle d'une ondulation basse 9. De manière alternative, la portion curviligne 31 peut présenter une forme différente de celle de l'ondulation haute ou basse qu'elle prolonge. Dans un tel cas, les tronçons de renfort 42, 43, 44 présentent alors une section différente de celle des éléments de renfort 14, 15 disposés dans les ondulations hautes 8 et basses 9.

L'organe de liaison 45 est curviligne et se développe le long de la direction curviligne d1 de la portion curviligne 36. En outre, chacun des tronçons de renfort 42, 43, 44 présente une ouverture 26 au travers de laquelle est emboîté l'organe de liaison 45. L'organe de liaison 45 permet ainsi de positionner chacun des tronçons de renfort 42, 43, 44 dans une position telle que, en projection dans un plan parallèle à la paroi 1, la direction rectiligne d2, d3, d4 dudit tronçon de renfort 42, 43, 44 est orientée tangentiellement ou sensiblement tangentiellement à la direction curviligne d1 de la portion curviligne 36.

De manière avantageuse, les deux extrémités de l'organe de liaison 45 sont également emboîtées dans des ouvertures ménagées 26 dans l'un et l'autre des deux renforts d'ondes 14 rectilignes qui sont positionnées dans les deux portions rectilignes de l'ondulation se raccordant à la portion curviligne 36.

De manière avantageuse, comme représenté sur la figure 3, les deux extrémités 46, 47 de chaque tronçon de renfort 42, 43, 44 sont biseautées, c'est-à-dire forme un angle par rapport à la direction rectiligne d2, d3, d4 dudit tronçon de renfort 42, 43, 44. Ainsi, comme représenté sur la figure 3, en projection dans un plan parallèle à la paroi, chaque tronçon de renfort 42, 43, 44 présente une forme trapézoïdale. En d'autres termes, chaque tronçon de renfort 42, 43, 44 présente deux extrémités 46, 47 biseautées qui sont chacune inclinées par rapport à la direction rectiligne d2, d3, d4 dudit tronçon de renfort 42, 43, 44 de manière à ce que ledit tronçon de renfort 42, 43, 44 s'élargisse du bord interne 48 vers le bord externe 49 de la portion curviligne 36, c'est-à-dire du bord présentant le rayon de courbure le

plus faible vers le bord présentant le rayon de courbure le plus fort. Un tel agencement permet d'offrir une plus grande surface de support pour la surface de la portion curviligne 36 de l'ondulation. De façon non représenté, les tronçons de renfort 42, 43, 44 peuvent être accolés dans la portion en contact avec le bord interne 48.

De manière avantageuse, chaque extrémité 46, 47 s'étend dans un plan qui est parallèle à la direction d'épaisseur de la paroi. En outre, l'angle formé par le plan de chaque extrémité 46, 47 par rapport à la direction rectiligne d2, d3, d4 du tronçon de renfort 42, 43, 44 est tel que ledit plan de chaque extrémité 46, 47 soit orthogonal ou sensiblement orthogonal à la tangente à la direction curviligne d1, à l'intersection dudit plan avec ladite direction curviligne d1.

Selon un mode de réalisation, les deux extrémités 46, 47 biseautées du tronçon de renfort 42, 43, 44 s'étendent chacun dans un plan qui est orthogonal à une tangente à la direction curviligne d1, à l'intersection entre ledit plan et la direction curviligne d1.

De manière avantageuse, les angles formés par les plans de deux extrémités de chaque tronçon de renfort 42, 43, 44 par rapport à la direction rectiligne d2, d3, d4 dudit tronçon de renfort 42, 43, 44 sont de même valeur et de sens opposés. Dans la mesure où la forme profilé des tronçons de renfort 42, 43, 44 est symétrique, ceci permet découper les tronçons de renfort 42, 43, 44, à la suite les uns des autres, dans un profilé rectiligne à section constante, et ceci sans chute de matière.

Selon un autre mode de réalisation, tel que représenté sur la figure 4, les deux extrémités des tronçons de renforts 42, 43, 44 s'étendent dans un plan orthogonal à la direction rectiligne d2, d3, d4 dudit tronçon de renfort 42, 43, 44.

La figure 7 représente un organe de liaison 45 selon un mode de réalisation. Dans ce mode de réalisation, l'organe de liaison 45 est un rail curviligne qui présente une partie curviligne 50 destinée à s'étendre selon la direction curviligne d1 de la portion curviligne 36 de l'ondulation. Le rail curviligne présente une section rectangulaire correspondant sensiblement aux dimensions de l'ouverture 26 ménagée dans les tronçons de renfort 42, 43, 44. L'organe de liaison 45 comporte ainsi un bord interne curviligne 51 et un bord externe curviligne 52 qui présente un rayon de courbure supérieure à celui du bord interne curviligne 51.

Dans le mode de réalisation de la figure 7, le bord interne curviligne présente un crénelage formé d'une alternance de saillies 53 et de creux 54. Chacune des saillies 53 est destinée à venir se loger dans l'ouverture 26 de l'un des tronçons de renfort 42, 43, 44. Le creux 54 entre les saillies 53 permettent ainsi de créer un jeu facilitant la mise en place des tronçons de renfort 42, 43, 44 dans la partie curviligne 50 de l'organe de liaison 45. Dans un mode de réalisation alternatif, le crénelage est ménagé dans le bord externe curviligne 52 de l'organe de liaison 45.

Notons que si dans les modes de réalisation décrits et représentés ci-dessus, la portion curviligne de l'ondulation est ménagée dans un membrane d'étanchéité primaire et le dispositif curviligne de renfort est disposé entre ladite membrane d'étanchéité primaire et une barrière thermiquement isolante primaire, la portion curviligne peut également être ménagé dans une membrane d'étanchéité secondaire, le dispositif curviligne de renfort étant alors disposé entre la membrane d'étanchéité secondaire et une barrière thermiquement isolante secondaire.

Par ailleurs, selon un autre mode de réalisation non représenté, la portion curviligne n'est pas ménagée à proximité d'une zone d'angle de la paroi mais à proximité d'un pied de support destiné à assurer un guidage d'une tour de chargement/déchargement. A titre d'exemple, de telles portions rectilignes sont notamment décrites et illustrées en relation avec la figure 9 du document WO2011157915.

Selon un autre mode de réalisation non représenté, la portion curviligne de l'ondulation peut être ménagée dans une zone de la paroi de plafond de la cuve qui est traversée par une structure de dôme gaz destinée à extraire de la phase vapeur de l'espace interne de la cuve vers un collecteur de vapeur disposé à l'extérieur de la cuve.

Selon un autre mode de réalisation non représenté, la portion curviligne de l'ondulation peut être ménagée dans une zone de la paroi de plafond de la cuve qui est équipée d'une structure de dôme liquide comportant un couvercle auquel est suspendue une tour de chargement/déchargement destiné à charger du gaz liquéfié dans la cuve et/ou à le décharger.

La technique décrite ci-dessus pour réaliser une paroi de cuve peut être utilisée dans différents types de cuve de GNL dans une installation terrestre ou dans un ouvrage flottant comme un navire méthanier ou autre.

En référence à la figure 8, 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 8 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 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.

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