Description

Titre de l'invention : Paroi étanche et thermiquement isolante

Domaine technique

[0001] L'invention se rapporte au domaine des cuves étanches à membrane métallique ondulée, pour le stockage et/ou le transport d'un gaz liquéfié.

[0002] En particulier, l'invention se rapporte au domaine des cuves étanches et thermiquement isolantes pour le stockage et/ou le transport de gaz liquéfié, telles que des cuves pour le transport de Gaz de Pétrole Liquéfié (aussi appelé GPL) présentant par exemple une température comprise entre -50°C et 0°C, pour le transport d'ammoniac à environ -33°C, ou pour le transport de Gaz Naturel Liquéfié (GNL) à environ -162°C à pression atmosphérique. Ces cuves peuvent être installées à terre ou sur un ouvrage flottant. Dans le cas d'un ouvrage flottant, la cuve peut être destinée au transport de gaz liquéfié ou à recevoir du gaz liquéfié servant de carburant pour la propulsion de l'ouvrage flottant.

Arrière-plan technologique

[0003] Dans l'état de la technique, il est connu des cuves étanches et thermiquement isolantes pour le stockage d'un gaz liquéfié comprenant une membrane d'étanchéité primaire ondulée qui est destinée à être en contact avec le gaz liquéfié contenu dans la cuve et qui est renforcée à l'aide d'éléments de renfort. Les éléments de renfort sont disposés sous les ondulations de la membrane d'étanchéité primaire, entre ladite membrane d'étanchéité primaire et la barrière thermiquement isolante primaire la supportant. De tels éléments de renfort permettent de diminuer les contraintes qui sont susceptibles de s'exercer, dans la membrane d'étanchéité primaire, notamment sous l'effet des pressions hydrostatiques et des pressions dynamiques dues au mouvement de la cargaison dans la cuve, en raison de la houle.

[0004] Différents types d'élément de renfort sont connus. Il existe notamment des cuves avec des éléments de renfort prenant la forme de cales en bois contreplaqué et d'autres avec des éléments de renfort prenant la forme d'éléments profilés en métal. Le choix du type de renfort à utiliser est notamment guidé par les pressions hydrostatiques et dynamiques susceptibles de s'exercer sur la membrane d'étanchéité primaire. Ainsi, l'utilisation des éléments profilés en métal est généralement privilégiée pour les cuves de grande taille, par exemple lorsque la pression maximale sur les ondes de la membrane est de l'ordre de 80 à 100 bars tandis que l'utilisation de cales en bois contreplaqué est privilégiée pour des cuves présentant une taille standard, par exemple lorsque la pression maximale est de l'ordre de 50 bars.

[0005] Toutefois, il n'existe pas de système de renfort qui soit adapté à des gammes de pression intermédiaires entre les deux gammes de pression précitées, c'est-à-dire qui soit suffisamment robuste pour supporter de telles pressions sans pour autant être surdimensionné, ce qui conduirait à augmenter inutilement le coût et la complexité de la cuve étanche et thermiquement isolante. Ceci est, par exemple, le cas pour des cuves de taille intermédiaire ou de taille standard lorsqu'elles sont destinées à stocker de l'éthane ou de l'ammoniac car ceux-ci présentent des masses volumiques plus importante que celle du méthane, à savoir 544 kg/m^3 pour l'éthane et 681 kg/m^3 pour l'ammoniac contre 423 kg/m^3 pour le méthane.

Résumé de l'invention

[0006] Une idée à la base de l'invention est donc de proposer une paroi pour une cuve étanche et thermiquement isolante qui soit renforcée de manière optimale, notamment pour des gammes de pression intermédiaires.

[0007] Selon un mode de réalisation, l'invention fournit une paroi étanche et thermiquement isolante pour une cuve destinée au stockage d'un gaz liquéfié, ladite paroi comportant :
une membrane d'étanchéité primaire destinée à être en contact avec le fluide contenu dans la cuve et reposant contre une barrière thermiquement isolante primaire, la membrane d'étanchéité comportant au moins une première série d'ondulations comportant des premières ondulations qui sont parallèles les unes aux autres et une deuxième série d'ondulations comportant des deuxièmes ondulations qui sont parallèles les unes aux autres, perpendiculaires aux premières ondulations et qui croisent les premières ondulations dans des zones de nœud ; les premières ondulations présentant une hauteur selon une direction d'épaisseur de la paroi qui est supérieure à une hauteur des deuxièmes ondulations ; la paroi comportant au moins un système de renfort comportant des premiers éléments de renfort qui sont positionnés en appui contre la barrière thermiquement isolante primaire, à l'intérieur de l'une des premières ondulations, de part et d'autre d'une des zones de nœud et un deuxième élément de renfort qui est positionné en appui contre la barrière thermiquement isolante primaire, au droit de la zone de nœud et s'étend dans l'une des deuxièmes ondulations de part et d'autre de la zone de nœud, les premiers éléments de renfort étant des éléments creux profilés et le deuxième élément de renfort présentant une section pleine et étant réalisé en bois par exemple en contreplaqué.

[0008] Grâce à ces caractéristiques, le système de renfort peut être optimisé pour des gammes de pression intermédiaire puisque la ou les ondulations les plus hautes, c'est-à-dire celles qui subissent les efforts les plus importants, sont renforcées par des éléments creux en profilés tandis que la ou les ondulations les plus basses, c'est-à-dire

celles qui subissent les efforts les moins importants, ne sont renforcées qu'avec des éléments de renfort en bois par exemple en contreplaqué.

[0009] Selon des modes de réalisation, une telle paroi étanche et thermiquement isolante peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes.

[0010] Selon un mode de réalisation, le système de renfort comporte un organe de liaison qui est disposé à l'intérieur de la première ondulation et qui est fixé aux premiers éléments de renfort et au deuxième élément de renfort. L'organe de liaison permet d'assurer un positionnement relatif des éléments de renfort les uns par rapport aux autres. L'organe de liaison permet aussi d'éviter que les premiers renforts ne viennent en contact avec le nœud.

[0011] Selon un mode de réalisation, l'organe de liaison comporte une lame en métal qui est fixée aux premiers éléments de renfort et au deuxième élément de renfort.

[0012] Selon un mode de réalisation, la lame est engagée dans une fente qui est ménagée dans chacun des premiers éléments de renfort, la lame étant fixée dans ladite fente. Ainsi, la lame et la fente des premiers éléments de renfort forment une liaison glissière qui permet de faciliter la mise en place de l'organe de liaison avant la fixation de la lame aux premiers éléments de renfort.

[0013] Selon un mode de réalisation, la fente est déformée localement afin de pincer la lame à l'intérieur de ladite fente.

[0014] Selon un mode de réalisation, la lame est fixée aux premiers éléments de renfort au moyen d'organes de fixation, tels que des vis, par exemple de type auto-foreuses.

[0015] Selon un mode de réalisation, la lame comporte des trous, de préférence oblongs.

[0016] Selon un mode de réalisation, la lame est fixée par clipsage aux premiers éléments de renfort.

[0017] Selon un mode de réalisation, la lame est fixée aux premiers éléments de renfort par un mécanisme d'assemblage, tel qu'un mécanisme d'assemblage à quart de tour.

[0018] Selon un mode de réalisation, la lame est engagée dans une rainure qui est ménagée dans le deuxième élément de renfort, transversalement à une direction longitudinale dudit deuxième élément de renfort, la lame étant fixée dans ladite rainure par au moins un organe de fixation, tel qu'une agrafe ou une vis, par exemple de type auto-foreuse.

[0019] Selon un mode de réalisation, le système de renfort comporte plusieurs deuxièmes éléments de renfort qui sont disposés dans plusieurs zones de nœud adjacentes et qui sont reliés les uns aux autres par l'organe de liaison, les zones de nœud étant formées à des croisements de la première ondulation avec plusieurs des deuxièmes ondulations.

[0020] Selon un mode de réalisation, l'organe de liaison est un premier organe de liaison et les premiers éléments de renfort auxquels est fixé le premier organe de liaison sont une première pluralité de premiers éléments de renfort positionnés à l'intérieur d'une première des premières ondulations,

le système de renfort comportant en outre une deuxième pluralité de premiers éléments de renfort qui sont positionnés en appui contre la barrière thermiquement isolante primaire, à l'intérieur d'une deuxième des premières ondulations et un deuxième organe de liaison qui est disposé à l'intérieur de la deuxième des premières ondulations et qui est fixé à la deuxième pluralité de premiers éléments de renfort et audit ou à chaque deuxième élément de renfort, ledit ou chaque deuxième élément de renfort s'étendant dans la deuxième ondulation entre la première et la deuxième des premières ondulations et de part et d'autre des zones de nœud formées à des croisements de la deuxième ondulation avec la première et la deuxième des premières ondulations.

[0021] Grâce à ces caractéristiques, le système de renfort peut présenter la forme d'un treillis.

[0022] Selon un mode de réalisation, le système de renfort comporte plusieurs premiers éléments de renfort, espacés les uns des autres, dans au moins un intervalle inter-ondulation positionné entre deux zones de nœud. Ceci permet de limiter encore davantage le coût et le poids du système de renfort.

[0023] Selon un mode de réalisation, la paroi étanche et thermiquement isolante comporte une pluralité de systèmes de renfort de sorte que des deuxièmes éléments de renfort soient disposés dans chacune des zones de nœud de la membrane d'étanchéité et s'étendent de part et d'autre de ladite zone de nœud dans l'une des deuxièmes ondulations et que des premiers éléments de renfort sont disposés dans chaque intervalle inter-ondulation des deuxièmes ondulations positionné entre deux zones de nœud.

[0024] Selon un mode de réalisation, les premiers éléments de renfort sont réalisés dans un matériau métallique, de préférence choisi parmi l'aluminium et les alliages d'aluminium ou dans un matériau polymère, de préférence choisi parmi le polyéthylène, le polycarbonate, le polystyrène et le polyéther imide.

[0025] Selon un mode de réalisation, le bois du deuxième élément de renfort est du bois massif, du contreplaqué ou des fibres de bois imprégnées de résine polymère.

[0026] Selon un mode de réalisation, le bois contreplaqué du deuxième élément de renfort présente des fibres orientées perpendiculairement à une direction d'épaisseur de la paroi.

[0027] Selon un autre mode de réalisation, le bois contreplaqué du deuxième élément de renfort présente des fibres orientées parallèlement à une direction d'épaisseur de la paroi. Ainsi, la résistance à la compression des deuxièmes éléments de renfort est la plus importante selon la direction dans laquelle s'exerce majoritairement les efforts de compression.

[0028] Selon un mode de réalisation, les éléments creux profilés comportent une semelle inférieure qui est destinée à reposer contre la surface interne de la barrière

thermiquement isolante primaire et une portion de support, supérieure. Selon un mode de réalisation, la portion de support présente une forme correspondant à la forme de l'intérieur de la première ondulation.

[0029] Selon un mode de réalisation, la portion de support comporte des voiles de renfort sécants qui s'étendent d'un bord à l'autre de l'élément creux profilé et qui se croisent au niveau de son plan de symétrie.

[0030] Selon un mode de réalisation, le deuxième élément de renfort présente une semelle inférieure qui est destinée à reposer contre la surface interne de la barrière thermiquement isolante primaire.

[0031] Selon un mode de réalisation, le deuxième élément de renfort présente des faces latérales qui ne s'étendent pas jusqu'au sommet de la deuxième ondulation et une face supérieure plane qui relie les deux faces latérales.

[0032] Selon un mode de réalisation, l'invention fournit aussi une cuve étanche et thermiquement isolante comportant au moins une paroi étanche et thermiquement isolante du type précité.

[0033] Selon un mode de réalisation, l'invention fournit aussi une cuve étanche et thermiquement isolante comportant deux barrières thermiquement isolante et deux membranes d'étanchéité.

[0034] Une installation selon l'un des modes de réalisation précités peut être 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 éthanier ou méthanier, une unité flottante de stockage et de regazéification (FSRU), une unité flottante de production et de stockage déporté (FPSO) et autres. Dans le cas d'une structure flottante, la cuve peut être destinée à recevoir du gaz naturel liquéfié servant de carburant pour la propulsion de la structure flottante.

[0035] Selon un mode de réalisation, l'invention concerne un navire pour le transport d'un fluide qui comporte une installation du type précité.

[0036] Selon un mode de réalisation, le navire comporte une double coque qui forme la structure porteuse.

[0037] 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 du navire à une installation de stockage flottante ou terrestre et une pompe pour entrainer un flux de fluide à travers les canalisations isolées depuis ou vers l'installation de stockage flottante ou terrestre vers ou depuis la cuve du navire.

[0038] 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.

[0039] Selon un mode de réalisation, l'invention concerne un navire pour le transport d'un fluide qui comporte une installation du type précité.

Brève description des figures

[0040] 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.

[0041] La [Fig.1] est une vue en perspective éclatée d'une paroi de cuve.

[0042] La [Fig.2] est une vue en perspective d'une plaque métallique ondulée destinée à la construction d'une membrane étanche.

[0043] La [Fig.3] est une vue de dessus d'un système de renfort selon un premier mode de réalisation destiné à être disposé sous les ondulations de la membrane d'étanchéité primaire.

[0044] La [Fig.4] est une vue partielle en perspective du système de renfort de la [Fig.3].

[0045] La [Fig.5] est une vue en coupe illustrant un mode de fixation d'un organe de liaison à un premier élément de renfort, destiné à être disposé sous une ondulation haute, selon une première variante.

[0046] La [Fig.6] est une vue schématique illustrant un mode de fixation d'un organe de liaison à un deuxième élément de renfort destiné à être disposé sous une ondulation basse, selon la première variante de la [Fig.5].

[0047] La [Fig.7] est une vue schématique illustrant un mode de fixation d'un organe de liaison à un premier élément de renfort, destiné à être disposé sous une ondulation haute, selon une deuxième variante.

[0048] La [Fig.8] est une vue schématique illustrant un mode de fixation d'un organe de liaison à un deuxième élément de renfort destiné à être disposé sous une ondulation basse, selon la deuxième variante de la [Fig.7].

[0049] La [Fig.9] est une vue schématique illustrant un mode de fixation d'un organe de liaison à un premier élément de renfort, destiné à être disposé sous une ondulation haute, selon une troisième variante.

[0050] La [Fig.10] est une vue de dessous d'un premier élément de renfort, destiné à être disposé sous une ondulation haute, selon une quatrième variante.

[0051] La [Fig.11] est une vue schématique d'un premier élément de renfort et d'un organe de liaison selon la quatrième variante avant leur fixation l'un à l'autre.

[0052] La [Fig.12] est une représentation schématique écorchée d'une cuve de navire méthanier et d'un terminal de chargement/déchargement de cette cuve.

[0053] La [Fig.13] est une vue en perspective d'un système de renfort selon un deuxième mode de réalisation.

Description des modes de réalisation

[0054] 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. Par ailleurs, les termes « supérieur » et « inférieur » sont également utilisés pour définir la position relative d'un élément par rapport à un autre, le terme « supérieur » désignant un élément plus proche de l'intérieur de la cuve et, par opposition, le terme « inférieur » désignant un élément plus éloigné de l'intérieur de la cuve ; et ceci quel que soit la position relative desdits éléments par rapport à la direction du champ de gravité.

[0055] En relation avec la [Fig.1], l'on décrit une paroi 1 pour une cuve étanche et thermiquement isolante destinée au stockage d'un gaz liquéfié.

[0056] Chaque paroi 1 comporte une structure multicouche qui présente successivement, de l'extérieur vers l'intérieur, selon la direction d'épaisseur de la paroi 1, une barrière thermiquement isolante secondaire 3 retenue à la structure porteuse 2, une membrane d'étanchéité secondaire 4 en appui contre la barrière thermiquement isolante secondaire 3, une barrière thermiquement isolante primaire 5 en appui contre la membrane d'étanchéité secondaire 4 et une membrane d'étanchéité primaire 6 en appui contre la barrière thermiquement isolante primaire 5 et destinée à être en contact avec le gaz naturel liquéfié contenu dans la cuve.

[0057] La structure porteuse 2 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.

[0058] La membrane d'étanchéité primaire 6 comporte une pluralité de tôles métalliques 7 qui sont soudées à recouvrement les unes aux autres de manière étanche. Les tôles métalliques 7 sont également ancrées à la barrière thermiquement isolante primaire 5. Pour ce faire, dans le mode de réalisation représenté, les tôles métalliques 7 sont soudées, par exemple par des soudures par point, le long de leurs bords, sur des bandes d'ancrage 8. Les bandes d'ancrage 8 sont logées et fixées dans des évidements ménagés dans la surface interne de la barrière thermiquement isolante primaire 5 de telle sorte que les bandes d'ancrage 8 affleurent la surface interne de la barrière thermiquement isolante primaire 5.

[0059] Comme représenté sur la [Fig.2], chaque tôle métallique 7 comporte une première série d'ondulations parallèles, dîtes ondulations hautes 9, et une deuxième série d'ondulations parallèles, dîtes ondulations basses 10, qui s'étendent perpendiculairement aux ondulations de la première série. Notons que les termes « haute » et « basse » présentent ici un sens relatif et signifient que les ondulations basses 10 présentent une hauteur inférieure à celle des ondulations hautes 9. Au niveau

de chaque croisement entre deux ondulations 9, 10, la membrane d'étanchéité primaire 6 comporte une zone de nœud 36. La zone de nœud 36 comporte une portion centrale présentant un sommet en saillie vers l'intérieur de la cuve. Par ailleurs, la portion centrale est bordée, d'une part, par une paire d'ondulations concaves formées dans la crête de l'ondulation haute 9 et, d'autre part, par une paire de renfoncements dans lesquels pénètre l'ondulation basse 10. Les ondulations 9, 10 des tôles métalliques 7 permettent à la membrane d'étanchéité primaire 6 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.

[0060] A titre d'exemple, les ondulations hautes 9 ont une hauteur comprise entre 45 et 70 mm selon l'épaisseur de l'isolation et les ondulations basses 10 ont une hauteur comprise entre 20 et 44 mm selon l'épaisseur de l'isolation.

[0061] A titre d'exemple, les tôles métalliques 7 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 1.10^{-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} à 9.10^{-6} K^{-1}. Toutefois, d'autres métaux ou alliages sont également envisageables. A titre d'exemple, la tôle métallique présente une épaisseur comprise entre 1 et 1,5 mm, par exemple 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.

[0062] Dans le mode de réalisation représenté, la paroi 1 de cuve est similaire à celle décrite dans la demande FR2691520 visant les produits Mark III ® et on pourra s'y référer pour obtenir davantage de détails concernant les barrières thermiquement isolantes primaire et secondaire et la membrane d'étanchéité secondaire 4. De manière alternative, les parois 1 de la cuve peuvent également être réalisées selon d'autres technologies, et notamment celles décrites dans les demandes de brevet WO14057221 et FR3125323 visant respectivement les produits Mark V et GTT NEXT1 ®.

[0063] On notera que le système de renfort est tout particulièrement optimisé pour être utilisé en combinaison avec des panneaux isolants des barrières thermiquement isolantes primaire et secondaire qui comportent une couche de mousse polymère isolante, avantageusement réalisée en mousse polyuréthane renforcée par des fibres, tels que des fibres de verre et dont la densité est comprise entre 130 et 210 kg/m^3, de préférence entre 150 et 170 kg/m^3.

[0064] En relation avec les figures 3 à 11, on décrit un système de renfort 11, destiné à être disposé sous les ondulations 9, 10 de la membrane d'étanchéité primaire 6, selon un premier mode de réalisation.

[0065] Le système de renfort 11 comporte, d'une part, des éléments de renfort, désignés « premiers éléments de renfort 12 » par la suite, qui sont destinés à être placés à l'intérieur des ondulations hautes 9 de la membrane d'étanchéité primaire 6, et d'autre part, des éléments de renfort désignés « deuxièmes éléments de renfort 13 » par la suite, qui sont destinés à être placés à l'intérieur des ondulations basses 10 de la membrane d'étanchéité primaire 6. Le système de renfort 11 comporte, en outre, un organe de liaison 14 qui est fixé aux premiers et deuxièmes éléments de renfort 12, 13 et permet ainsi d'assurer le positionnement relatif desdits premiers et deuxièmes éléments de renfort 12, 13 les uns par rapport aux autres.

[0066] Les premiers éléments de renfort 12 sont des éléments creux profilés. Ils sont réalisés dans un matériau métallique, tel que l'aluminium ou un alliage d'aluminium par exemple, ou dans un matériau polymère, tel que le polyéthylène, le polycarbonate, le polystyrène ou le polyéther imide, avantageusement renforcé par des fibres, tels que des fibres de verre.

[0067] Comme illustré par exemple sur les figures 4 et 5, les éléments creux profilés comportent une semelle 15, inférieure, qui est destinée à reposer contre la surface interne de la barrière thermiquement isolante primaire 5 et une portion de support 16, supérieure.

[0068] La portion de support 16 peut être réalisée selon diverses géométries, comme illustré par exemple dans le document FR2936784. De préférence, la forme extérieure de la portion de support 16 correspond à la forme de l'intérieur de l'ondulation haute 9, de manière à offrir un soutien efficace de sensiblement toute la surface de l'ondulation haute 9. Dans le mode de réalisation représenté, la section générale de la portion de support 16 est un dôme semi-elliptique. Par ailleurs, la semelle 15 présente une paroi inférieure qui est plane et qui repose contre la surface interne de la barrière thermiquement isolante primaire 5. La portion de support 16 comporte des voiles de renfort 17 sécants qui s'étendent d'un bord à l'autre de l'élément creux profilé et qui se croisent au niveau de son plan de symétrie.

[0069] Dans le mode de réalisation représenté, le système de renfort 11 comporte plusieurs premiers éléments de renfort 12 qui sont espacés dans chaque intervalle inter-ondulation entre deux ondulations basses 10. Par ailleurs, comme décrit dans la publication FR2861060, on peut prévoir des nervures de renfort, non représentées, sur les faces latérales des ondulations hautes 9. Dans ce cas, les nervures de renfort sont de préférence localisées entre les premiers éléments de renfort 12 qui sont espacés dans chaque intervalle inter-ondulation entre deux ondulations basses 10.

[0070] Toutefois, dans un autre mode de réalisation non représenté, le système de renfort 11 peut également ne comporter qu'un unique premier élément de renfort disposé dans chaque intervalle inter-ondulation entre deux ondulations basses 10. Dans un tel cas, la

dimension longitudinale de l'unique élément de renfort 12 est adaptée en conséquence afin d'exercer un soutien efficace sur une majeure partie de la longueur de l'intervalle inter-ondulation entre deux ondulations basses 10.

[0071] Par ailleurs, les deuxièmes éléments de renfort 13 présentent une section pleine et sont réalisés en bois contreplaqué. Les deuxièmes éléments de renfort 13 présentent une semelle inférieure 18, qui est destinée à reposer contre la surface interne de la barrière thermiquement isolante primaire 5. Les deuxièmes éléments de renfort 13 présentent des faces latérales 19 qui ne s'étendent pas jusqu'au sommet de l'ondulation basse 10 et les deuxièmes éléments de renfort 13 présentent une face supérieure plane qui relie les deux faces latérales 19. Les deuxièmes éléments de renfort 13 présentent donc une section en forme de trapèze isocèle. Ainsi, du gaz peut circuler entre le sommet de l'onde et la face supérieure 20. Les deuxièmes éléments de renfort 13 présentent une forme complémentaire à celle de la portion inférieure des ondulations basses 10. Dans le mode de réalisation, illustré, chaque deuxième élément de renfort 13 est disposé au droit de l'une des zones nœud 36 et s'étend dans l'ondulation basse 10, de part et d'autre de la zone de nœud 36.

[0072] De manière avantageuse, les fibres du bois contreplaqué dans lequel sont formés les deuxièmes éléments de renfort 13 sont orientées parallèlement à la direction d'épaisseur de la paroi 1. Ainsi, la résistance à la compression des deuxièmes éléments de renfort 13 est la plus importante selon la direction d'épaisseur de la paroi 1, ce qui correspond à la direction dans laquelle s'exercent majoritairement les efforts de compression sur les deuxièmes éléments de renfort 13.

[0073] Les organes de liaison sont formés par des lames 21 qui sont, avantageusement en métal et par exemple en acier inoxydable.

[0074] Dans une première variante de réalisation illustrée sur les figures 3, 5 et 6, la lame 21 présente une section rectangulaire. En outre, comme représenté sur la [Fig.5], la lame 21 est engagée dans une fente 22 qui est ménagée dans chacun des premiers éléments de renfort 12 et traverse les premiers éléments de renfort 12 selon leur direction longitudinale. La fente 22 présente une section rectangulaire complémentaire à celle de la lame 21 et forme ainsi une liaison glissière. Ainsi, le montage des premiers éléments de renfort 12 sur la lame 21 est simple à mettre en œuvre en faisant coulisser lesdits premiers éléments de renfort 12 le long de la lame 21. En outre, pour assurer la fixation des premiers éléments de renfort 12 à la lame 21 dans une position déterminée, les premiers éléments de renfort 12 peuvent être poinçonnés afin de déformer localement la fente 22 de sorte à pincer la lame 21. De manière alternative, la fixation des lames 21 aux premiers éléments de renfort 12 peut également être réalisée au moyen d'organes de fixation, tels que des vis par exemple de type auto-foreuses, ce qui évite des opérations de perçage préalables. Alternativement, la lame 21 peut comporter des

trous pour faciliter l'utilisation d'une vis ou d'un rivet de fixation, de préférence le trou peut être oblong.

[0075] Par ailleurs, comme représenté sur la [Fig.6], les deuxièmes éléments de renfort 13 présentent une rainure 23 dans laquelle est engagée la lame 21. La rainure 23 est ménagée dans les deuxièmes éléments de renfort 13, selon une direction transversale perpendiculaire à la direction longitudinale des deuxièmes éléments de renfort 13. La lame 21 est fixée aux deuxièmes éléments de renfort 13, par des organes de fixation, tels que des agrafes 24, dont l'une est représentée schématiquement sur la [Fig.6], ou des vis par exemple de type auto-foreuses.

[0076] Dans une deuxième variante de réalisation, représentée sur les figures 7 et 8, la lame 21 est fixée par clipsage aux premiers éléments de renfort 12. La lame 21 présente une section en forme de L dont l'une des branches présente une extrémité recourbée 25. Comme représenté sur la [Fig.7], la fente 26 ménagée dans les premiers éléments de renfort 12 présente également une section en forme de L et débouche dans la semelle 15. L'extrémité recourbée 23 de la branche de la lame 21 est conformée pour se déformer lorsque la lame 21 est engagée dans la fente 26 et pour générer une force de réaction qui plaque ladite extrémité recourbée 23 contre l'une des parois de la fente 26. Ceci permet d'assurer une fixation des premiers éléments de renfort 12 à la lame 21.

[0077] Comme représenté sur la [Fig.8], la rainure 27 ménagée dans les deuxièmes éléments de renfort 13 présente également une forme en L. L'extrémité recourbée 23 peut également se déformer et se plaquer contre les parois de la rainure 27. De manière alternative ou complémentaire, la lame 21 est fixée aux deuxièmes éléments de renfort 13 par des organes de fixation, tels que des agrafes 28 dont l'une est représentée schématiquement sur la [Fig.8], ou des vis auto-foreuses par exemple.

[0078] La [Fig.9] représente un premier élément de renfort 12 et un organe de liaison 14 selon une troisième variante de réalisation. L'organe de liaison 14 est une lame 29 profilée métallique dont la section présente un élément mâle 30 ayant une forme complémentaire à celle de la fente 31 ménagée dans le premier élément de renfort 12. Ainsi, l'élément mâle 30 et la fente 31 forment une liaison glissière permettant de faire coulisser les premiers éléments de renfort 12 le long de l'organe de liaison 14 lors de leur mise en place. Par ailleurs, comme dans la première variante de réalisation, les premiers éléments de renfort 12 sont avantageusement poinçonnés afin de déformer localement la fente 31 de sorte à pincer l'élément mâle 30 de l'organe de liaison à l'intérieur de la fente 31.

[0079] Les figures 10 et 11 illustrent une autre variante de fixation des premiers éléments de renfort 12 à l'organe de liaison 14. Dans cette variante de réalisation, les premiers éléments de renfort 12 sont fixés à l'organe de liaison 14 par un mécanisme d'assemblage, par exemple un « mécanisme d'assemblage à quart de tour ». Un tel

mécanisme d'assemblage comporte une partie mâle 32, visible sur les figures 11 et 12, et qui est ici solidaire de la lame 21 de l'organe de liaison 14, et une partie femelle 33 qui correspond ici à une ouverture ménagée dans la semelle des premiers éléments de renfort 12. Dans le mode de réalisation représenté, la partie mâle 32 est ménagée sur une cale 35, par exemple en aluminium ou en acier inoxydable, qui est fixée à la lame 21.

[0080] La partie mâle 32 présente des ergots, non représentés, qui sont destinés à s'engager dans des encoches 34 ménagées dans l'ouverture de la partie femelle 33. Ainsi, pour fixer les premiers éléments de renfort 12 à l'organe de liaison 14, les éléments de renfort 12 sont, dans un premier temps, positionnés par rapport à l'organe de liaison dans une position relative, représentée sur la [Fig.11], dans laquelle les ergots de la partie mâle 32 traversent chacun l'une des encoches 34 de la partie femelle 33. Dans un deuxième temps, les premiers éléments de renfort 12 sont tournés autour d'un axe parallèle à la direction d'épaisseur de la paroi jusqu'à une position assemblée, représentée sur la [Fig.12], dans laquelle la direction de profilé des premiers éléments de renfort 12 est alignée avec la direction longitudinale de la lame 21 de l'organe de liaison 14.

[0081] Dans le système de renfort 111 selon le deuxième mode de réalisation représenté dans la [Fig.13], les éléments identiques ou similaires à ceux du premier mode de réalisation portent le même chiffre de référence augmenté de 100 et ne seront décrits que dans la mesure où ils diffèrent du premier mode de réalisation.

[0082] Le système de renfort 111 comporte une pluralité de trames de renfort 50 destinées à être positionnées à l'intérieur de plusieurs ondulations hautes 9 successives de la membrane d'étanchéité primaire 6. Chaque trame de renfort 50 comporte, similairement au système de renfort 11, plusieurs premiers éléments de renfort 112 destinés à être positionné à l'intérieur d'une des ondulations hautes 9 et un organe de liaison 114 fixé aux premiers éléments de renfort 112 de la trame de renfort 50. Trois trames de renfort 50 sont présentes dans le système de renfort 111 de la [Fig.13] à titre illustratif.

[0083] Les trames de renfort 50 du système de renfort 111 sont attachées les unes aux autres par des deuxièmes éléments de renforts 113 destinés à être placés à l'intérieur des ondulations basses 10 de la membrane d'étanchéité primaire 6. Pour cela, les organes de liaison 114 de toutes les trames de renfort 50 du système de renfort 111 sont fixés à chacun des deuxièmes éléments de renforts 113. Le deuxième élément de renfort 113 est donc suffisamment long pour s'étendre à travers au moins deux zones de nœud 36 successives le long d'une ondulation basse 10. Le deuxième élément de renfort 113 est suffisamment long pour s'étendre à travers trois zones de nœud 36 successives dans le système de renfort 111 de la [Fig.13] à titre illustratif. Ainsi, le système de renfort

111 forme un treillis de renforcement destiné à être positionné dans les ondulations hautes 9 et les ondulations basses 10 de toute une zone rectangulaire de la membrane étanche primaire 6. Selon la taille du treillis, c'est-à-dire selon le nombre de trames de renfort 50 dans une direction de largeur du système de renfort 111 et selon le nombre de deuxièmes éléments de renforts 113 une direction de longueur du système de renfort 111, la zone rectangulaire peut correspondre à une plaque métallique ondulée, plusieurs plaques métalliques ondulées ou une portion d'une plaque métallique ondulée.

[0084] A chacune de ses extrémités longitudinales, le système de renfort 111 peut être terminé par un deuxième élément de renfort 113 ou par des premiers éléments de renfort 112. Les deux possibilités sont illustrées sur la [Fig.13], dans laquelle le système de renfort 111 à des structures différentes à ses deux extrémités longitudinales. En variante, le système de renfort 111 pourrait présenter une structure identique à ses deux extrémités longitudinales.

[0085] Selon un mode de réalisation, le deuxième élément de renfort 113 est formé de plusieurs composants assemblés les uns aux autres, chaque composant étant similaire au deuxième élément de renfort 13 du premier mode de réalisation. Dans ce cas, le système de renfort 111 peut être obtenu par assemblage de plusieurs systèmes de renfort 11.

[0086] En référence à la [Fig.12], une vue écorchée d'un navire méthanier 70 montre une cuve étanche et thermiquement isolante 71 de forme générale prismatique montée dans la double coque 72 du navire. La paroi de la cuve 71 comporte une membrane étanche primaire destinée à être en contact avec le GNL contenu dans la cuve, une membrane étanche secondaire agencée entre la membrane étanche primaire et la double coque 72 du navire, et deux barrières thermiquement isolantes agencées respectivement entre la membrane étanche primaire et la membrane étanche secondaire et entre la membrane étanche secondaire et la double coque 72.

[0087] 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.

[0088] La [Fig.12] représente un exemple de terminal maritime comportant un poste de chargement et de déchargement 75, une conduite sous-marine 76 et une installation à terre 77. Le poste de chargement et de déchargement 75 est une installation fixe off-shore comportant un bras mobile 74 et une tour 78 qui supporte le bras mobile 74. Le bras mobile 74 porte un faisceau de tuyaux flexibles isolés 79 pouvant se connecter aux canalisations de chargement/déchargement 73. Le bras mobile 74 orientable s'adapte à tous les gabarits de 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.

[0089] 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.

[0090] 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.

[0091] 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.

[0092] Dans les revendications, tout signe de référence entre parenthèses ne saurait être interprété comme une limitation de la revendication.

Revendications

[Revendication 1] Paroi (1) étanche et thermiquement isolante pour une cuve destinée au stockage d'un gaz liquéfié, ladite paroi (1) comportant :
une membrane d'étanchéité primaire (6) destinée à être en contact avec le fluide contenu dans la cuve et reposant contre une barrière thermiquement isolante primaire (5), la membrane d'étanchéité primaire (6) comportant au moins une première série d'ondulations comportant des premières ondulations (9) qui sont parallèles les unes aux autres et une deuxième série d'ondulations comportant des deuxièmes ondulations (10) qui sont parallèles les unes aux autres, perpendiculaires aux premières ondulations (9) et qui croisent les premières ondulations (9) dans des zones de nœud (36) ; les premières ondulations (9) présentant une hauteur selon une direction d'épaisseur de la paroi qui est supérieure à une hauteur des deuxièmes ondulations (10) ; la paroi (1) comportant au moins un système de renfort (11, 111) comportant des premiers éléments de renfort (12, 112) qui sont positionnés en appui contre la barrière thermiquement isolante primaire (5), à l'intérieur de l'une des premières ondulations (9), de part et d'autre d'une des zones de nœud (36) et un deuxième élément de renfort (13, 113) qui est positionné en appui contre la barrière thermiquement isolante primaire (5), au droit de la zone de nœud (36) et s'étend dans l'une des deuxièmes ondulations (10) de part et d'autre de la zone de nœud (36), les premiers éléments de renfort (12, 112) étant des éléments creux profilés et le deuxième élément de renfort (13, 113) présentant une section pleine et étant réalisé en bois.

[Revendication 2] Paroi (1) étanche et thermiquement isolante selon la revendication 1, dans laquelle le système de renfort (11, 111) comporte un organe de liaison (14, 114) qui est disposé à l'intérieur de la première ondulation (9) et qui est fixé aux premiers éléments de renfort (12, 112) et au deuxième élément de renfort (13, 113).

[Revendication 3] Paroi (1) étanche et thermiquement isolante selon la revendication 2, dans lequel l'organe de liaison (14) comporte une lame (21, 30) en métal qui est fixée aux premiers éléments de renfort (12, 112) et au deuxième élément de renfort (13, 113).

[Revendication 4] Paroi (1) étanche et thermiquement isolante selon la revendication 3, dans laquelle la lame (21, 30) est engagée dans une fente (22, 26, 31)

qui est ménagée dans chacun des premiers éléments de renfort (12, 112) et dans laquelle la lame (21, 30) est fixée dans ladite fente (22, 26, 31).

[Revendication 5] Paroi (1) étanche et thermiquement isolante selon la revendication 4, dans laquelle la fente (22, 26, 31) est déformée localement afin de pincer la lame (21, 30) à l'intérieur de ladite fente (22, 26, 31).

[Revendication 6] Paroi (1) étanche et thermiquement isolante selon la revendication 4 ou 5, dans laquelle la lame (21, 30) est fixée aux premiers éléments de renfort (12, 112) au moyen d'organes de fixation, tels que des vis.

[Revendication 7] Paroi (1) étanche et thermiquement isolante selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, dans laquelle la lame (21) est fixée par clipsage aux premiers éléments de renfort (12, 112).

[Revendication 8] Paroi (1) étanche et thermiquement isolante selon la revendication 4, dans laquelle la lame (21) est fixée aux premiers éléments de renfort (12) par un mécanisme d'assemblage, tel qu'un mécanisme d'assemblage à quart de tour.

[Revendication 9] Paroi (1) étanche et thermiquement isolante selon l'une quelconque des revendications 4 à 8, dans laquelle la lame (21, 30) est engagée dans une rainure (23) qui est ménagée dans le deuxième élément de renfort (13, 113), transversalement à une direction longitudinale dudit deuxième élément de renfort (13, 113) et dans laquelle la lame (21, 30) est fixée dans ladite rainure (23) par au moins un organe de fixation (24), tel qu'une agrafe ou une vis.

[Revendication 10] Paroi (1) étanche et thermiquement isolante selon l'une quelconque des revendications 2 à 9, dans laquelle le système de renfort (11, 111) comporte plusieurs deuxièmes éléments de renfort (13, 113) qui sont disposés dans plusieurs zones de nœud (36) adjacentes et qui sont reliés les uns aux autres par l'organe de liaison (14, 114), les zones de nœud étant formées à des croisements de la première ondulation (9) avec plusieurs des deuxièmes ondulations (10).

[Revendication 11] Paroi (1) étanche et thermiquement isolante selon l'une des revendications 2 à 10, dans laquelle l'organe de liaison est un premier organe de liaison (114) et les premiers éléments de renfort auxquels est fixé le premier organe de liaison (114) sont une première pluralité de premiers éléments de renfort (112) positionnés à l'intérieur d'une première des premières ondulations (9), le système de renfort (111) comportant en outre une deuxième pluralité de premiers éléments de renfort (112) qui sont positionnés

en appui contre la barrière thermiquement isolante primaire (5), à l'intérieur d'une deuxième des premières ondulations (9) et un deuxième organe de liaison (114) qui est disposé à l'intérieur de la deuxième des premières ondulations (9) et qui est fixé à la deuxième pluralité de premiers éléments de renfort (12) et audit ou à chaque deuxième élément de renfort (113), ledit ou chaque deuxième élément de renfort (113) s'étendant dans la deuxième ondulation (10) entre la première et la deuxième des premières ondulations (9) et de part et d'autre des zones de nœud (36) formées à des croisements de la deuxième ondulation (10) avec la première et la deuxième des premières ondulations (9).

[Revendication 12] Paroi (1) étanche et thermiquement isolante selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, dans laquelle le système de renfort (11) comporte plusieurs premiers éléments de renfort (12), espacés les uns des autres, dans au moins un intervalle inter-ondulation positionné entre deux zones de nœud (36).

[Revendication 13] Paroi (1) étanche et thermiquement isolante selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, dans laquelle les premiers éléments de renfort (12) sont réalisés dans un matériau métallique, de préférence choisi parmi l'aluminium et les alliages d'aluminium ou dans un matériau polymère, de préférence choisi parmi le polyéthylène, le polycarbonate, le polystyrène et le polyéther imide.

[Revendication 14] Paroi (1) étanche et thermiquement isolante selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, dans laquelle le bois du deuxième élément de renfort (13) est du contreplaqué et présente des fibres orientées parallèlement à une direction d'épaisseur de la paroi.

[Revendication 15] Cuve étanche et thermiquement isolante comportant au moins une paroi (1) étanche et thermiquement isolante selon l'une quelconque des revendications 1 à 14.

[Revendication 16] Navire (70) pour le transport d'un gaz liquéfié, le navire comportant une double coque (72) et une cuve (71) selon la revendication 15, la double coque comportant la structure porteuse.

[Revendication 17] Système de transfert pour un gaz liquéfié, le système comportant un navire (70) selon la revendication 16, des canalisations isolées (73, 79, 76, 81) agencées de manière à relier la cuve (71) installée dans la coque du navire à une installation de stockage flottante ou terrestre (77) et une pompe pour entrainer un flux de gaz liquéfié à travers

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

[Revendication 18] Procédé de chargement ou déchargement d'un navire (70) selon la revendication 16, dans lequel on achemine un gaz liquéfié à travers des canalisations isolées (73, 79, 76, 81) depuis ou vers une installation de stockage flottante ou terrestre (77) vers ou depuis la cuve (71) du navire (70).