Description

Titre de l'invention : Cuve étanche et thermiquement isolante

Domaine technique

[0001] L'invention se rapporte au domaine des cuves étanches et thermiquement isolantes, à membranes. En particulier, l'invention se rapporte au domaine des cuves étanches et thermiquement isolantes pour le stockage et/ou le transport de gaz liquéfié à basse température, telles que des cuves pour le transport de Gaz de Pétrole Liquéfié (aussi appelé GPL) présentant par exemple une température comprise entre -50°C et 0°C, ou pour le transport de Gaz Naturel Liquéfié (GNL) à environ -162°C à pression 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

[0002] Il est connu du document WO2011157915 des cuves étanches et thermiquement isolantes pour le stockage et/ou le transport de gaz liquéfié comprenant au moins une membrane d'étanchéité qui est en contact avec le gaz liquéfié. Ces cuves peuvent être équipées d'une tour de chargement/déchargement ou plus simplement de conduites de chargement et de déchargement traversant la paroi de plafond de la cuve pour atteindre l'espace interne de la cuve afin de charger ou décharger la cuve en gaz liquéfié.

[0003] Dans le cas d'une tour de chargement/déchargement, celle-ci comporte une structure formée de plusieurs mâts reliés à une extrémité inférieure les uns aux autres à l'aide d'une base. La tour de chargement/déchargement comporte de plus un dispositif de guidage qui est fixé contre la face inférieure de la base et qui coopère avec un pied de support qui traverse la paroi de fond de la cuve et vient se fixer à la structure porteuse.

[0004] Des pompes, notamment de déchargement, sont fixées à l'intérieur de la cuve à la tour de chargement/déchargement, aux conduites de chargement et de déchargement ou au pied de support. Afin de limiter le volume de liquide qui ne peut pas être déchargé de la cuve, l'extrémité inférieure de la pompe de déchargement est située au plus près de la membrane d'étanchéité à une distance prédéfinie, de l'ordre de quelques centimètres.

[0005] De plus, dans le document WO2011157915, la membrane d'étanchéité en contact avec le gaz liquéfié est une membrane d'étanchéité métallique ondulée présentant une première série d'ondulations parallèle dans une première direction et une deuxième série d'ondulations parallèle dans une deuxième direction.

Résumé

[0006] Il a été constaté par les inventeurs que les pompes sont fixées dans la cuve à une distance prédéfinie de la membrane d'étanchéité de la paroi de fond afin de ne pas endommager la membrane d'étanchéité. Toutefois, une telle installation empêche de positionner les pompes au plus près de la paroi de fond et donc limite le volume de cargaison pouvant être pompé.

[0007] En effet, la membrane d'étanchéité possède des ondulations saillantes vers l'intérieur de la cuve devant être prises en compte lors du positionnement de la pompe.

[0008] Une idée à la base de l'invention est d'aménager la zone de la membrane disposée au voisinage de la pompe.

[0009] Selon un mode de réalisation, l'invention fournit une cuve étanche et thermiquement isolante intégrée dans une structure porteuse comportant une paroi porteuse, ladite cuve comportant une paroi de cuve fixée sur la paroi porteuse de la structure porteuse, dans laquelle la paroi de cuve comporte dans une direction d'épaisseur de l'extérieur vers l'intérieur de la cuve, au moins une barrière thermiquement isolante et au moins une membrane d'étanchéité supportée par la barrière thermiquement isolante et destinée à être en contact avec le fluide contenu dans la cuve,
dans laquelle la membrane d'étanchéité comporte une pluralité de portions de membrane juxtaposées et soudées les unes aux autres, chaque portion de membrane étant délimitée par un pourtour extérieur polygonal,
dans laquelle la pluralité de portions de membrane comprend au moins une portion de membrane régulière, la portion de membrane régulière comportant une première série régulière d'ondulations, la première série régulière d'ondulations étant constituée de premières ondulations parallèles s'étendant dans une première direction et mutuellement espacées d'un premier pas d'onde dans une deuxième direction perpendiculaire à la première direction
ladite portion de membrane régulière comportant des portions planes régulières situées entre les premières ondulations de la première série régulière d'ondulations et reposant sur la barrière thermiquement isolante, les portions planes régulières présentant une dimension inférieure au premier pas d'onde dans la deuxième direction,
dans laquelle la pluralité de portions de membrane comprend au moins une portion de membrane singulière, la portion de membrane singulière comportant une première série singulière d'ondulations, la première série singulière d'ondulations étant constituée de premières ondulations parallèles s'étendant dans la première direction, la portion de membrane singulière comportant une portion plane singulière ayant une dimension dans la deuxième direction strictement supérieure à N fois le premier pas d'onde, N étant un entier naturel non nul,
la portion de membrane régulière étant adjacente à la portion de membrane singulière dans la deuxième direction,

et dans laquelle la première série singulière d'ondulations comporte au moins deux premières ondulations situées respectivement de part et d'autre de la portion plane singulière dans la deuxième direction.

[0010] Grâce à ces caractéristiques, la portion plane singulière de la portion de membrane singulière permet d'avoir une zone dépourvue de premières ondulations sur une dimension plus importante que dans la ou les portions de membrane régulières tout en conservant une flexibilité suffisante à l'aide des ondulations situées de part et d'autre de la portion plane singulière.

[0011] Ainsi, dans le cas où cette portion plane singulière est située au droit d'un élément interne proche de la membrane d'étanchéité, l'absence des premières ondulations dans cette zone permet d'adapter l'écartement entre la membrane d'étanchéité et l'élément interne afin d'optimiser le volume pompé.

[0012] Selon des modes de réalisation, une telle cuve peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes.

[0013] Dans un mode de réalisation, une majeure partie de la membrane d'étanchéité est constituée par des portions de membrane régulières.

[0014] Selon un mode de réalisation, la première série singulière d'ondulations comporte deux groupes situés respectivement de part et d'autre de la portion plane singulière dans la deuxième direction, chaque groupe comportant au moins N premières ondulations mutuellement espacées du premier pas d'onde dans la deuxième direction, la portion de membrane singulière comportant des portions planes régulières situées entre les premières ondulations d'un même groupe.

[0015] Ainsi, la membrane d'étanchéité dans la portion de membrane singulière conserve une flexibilité à la contraction/dilatation thermique dans la deuxième direction malgré une portion plane singulière plus importante que sur la ou les portions de membrane régulières de la membrane d'étanchéité.

[0016] Selon un mode de réalisation, l'entier naturel N est supérieur ou égal à 2.

[0017] L'entier naturel N peut également être égal à 1, 2 ou 3.

[0018] Selon un mode de réalisation, la portion de membrane régulière est adjacente à la portion de membrane singulière dans la deuxième direction de sorte qu'une dite première ondulation de la portion de membrane singulière adjacente au pourtour extérieur soit distante d'une dite première ondulation de la portion de membrane régulière d'une dimension égale au premier pas d'onde dans la deuxième direction.

[0019] Selon un mode de réalisation, la cuve comporte un espace interne délimité par la membrane d'étanchéité, la cuve comportant un élément interne situé dans l'espace interne de la cuve,

la portion plane singulière de la portion de membrane singulière étant située au droit de l'élément interne dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve.

[0020] Ainsi, dans le cas où la membrane d'étanchéité ne possède qu'une série d'ondulations et en supprimant les ondulations sous l'élément interne, il est possible d'augmenter l'écartement entre la membrane d'étanchéité et l'élément interne d'une dimension égale à la hauteur d'une ondulation prise dans la direction d'épaisseur.

[0021] Selon un mode de réalisation, l'élément interne présente une dimension dans la deuxième direction supérieure au premier pas d'onde, et de préférence inférieure à la dimension de la portion plane singulière dans la deuxième direction. Par exemple, pour une portion plane singulière d'une dimension de trois fois le premier pas d'onde dans la deuxième direction, l'élément interne présente une dimension dans la deuxième direction inférieure à trois fois le premier pas d'onde, et de préférence comprise entre deux fois et trois fois le premier pas d'onde.

[0022] Selon un mode de réalisation, l'élément interne est situé à une distance prédéfinie de la portion plane singulière dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve, la distance prédéfinie étant inférieure à 200mm, de préférence comprise entre 30 et 150mm, par exemple comprise entre 95 et 105mm, la distance étant mesurée lorsque la cuve est vide.

[0023] En effet, la distance n'est mesurée que lorsque la cuve est vidée de son contenu, tel que du gaz liquéfié. Quand la cuve est montée dans un navire, la mesure est donc réalisée à quai ou en cale sèche.

[0024] Selon un mode de réalisation, la membrane d'étanchéité comporte une deuxième série d'ondulations, la deuxième série d'ondulations étant constituée de deuxièmes ondulations parallèles s'étendant dans la deuxième direction, lesdites portions planes régulières et singulières étant situées entre lesdites deuxièmes ondulations, la portion de membrane singulière comportant au moins deux portions planes singulières situées de part et d'autre d'une dite deuxième ondulation.

[0025] Selon un mode de réalisation, les deuxièmes ondulations de la deuxième série d'ondulations sont mutuellement espacées d'un deuxième pas d'onde dans la première direction, le deuxième pas d'onde étant de préférence identique entre lesdites portions planes régulières et singulières.

[0026] Selon un mode de réalisation, les deuxièmes ondulations présentent une hauteur dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve inférieure à une hauteur dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve des premières ondulations.

[0027] Ainsi, malgré la présence de deuxièmes ondulations entre des portions planes singulières, l'absence de premières ondulations dans cette zone permet d'augmenter l'écartement entre la membrane d'étanchéité et l'élément interne d'une dimension égale à la différence de hauteur entre une première ondulation et une deuxième ondulation.

[0028] Selon un mode de réalisation, la membrane d'étanchéité comporte des nœuds d'ondulations, chaque nœud d'ondulation étant formé au croisement entre une dite

première ondulation et une dite deuxième ondulation et présentant une hauteur dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve supérieure à la hauteur des premières ondulations.

[0029] Ainsi, malgré la présence de deuxièmes ondulations entre des portions planes singulières, l'absence de premières ondulations dans cette zone permet d'augmenter l'écartement entre la membrane d'étanchéité et l'élément interne d'une dimension égale à la différence de hauteur entre un nœud d'ondulation et une deuxième ondulation.

[0030] Selon un mode de réalisation, la portion de membrane singulière comporte une fenêtre délimitée par un pourtour intérieur polygonal, dans laquelle la cuve comporte un pied de support fixé à la structure porteuse et s'étendant à travers la paroi de cuve et à travers ladite fenêtre, la portion de membrane singulière comportant au moins un ancrage au pied de support sur au moins un côté du pourtour intérieur polygonale, l'ancrage au pied de support étant de préférence sur chaque côté du pourtour intérieur polygonale.

[0031] Selon un mode de réalisation, la cuve comporte une tour de chargement/déchargement, la tour de chargement/déchargement comprenant une pluralité de mâts reliés à une extrémité inférieure les uns aux autres à l'aide d'une base, la base comportant un dispositif de guidage coopérant avec le pied de support, le pied de support étant configuré pour assurer un guidage en translation verticale de la tour de chargement/déchargement, la cuve comportant au moins une pompe de déchargement située dans l'espace interne et fixée à la tour de chargement/déchargement, l'élément interne étant formé par la pompe de déchargement.

[0032] Selon un mode de réalisation, l'élément interne est relié au pied de support.

[0033] Selon un mode de réalisation, entre tout côté du pourtour intérieur et tout côté du pourtour extérieur de la portion de membrane singulière, au moins l'un parmi un nombre des premières ondulations et un nombre des deuxièmes ondulations que comporte la portion de membrane singulière est inférieur ou égale à trois.

[0034] Selon un mode de réalisation, au moins l'un parmi le nombre total de premières ondulations que comporte la portion de membrane singulière et le nombre total de deuxièmes ondulations que comporte la portion de membrane singulière est inférieur ou égale à trois.

[0035] Selon un mode de réalisation, au moins l'un parmi le nombre total de premières ondulations que comporte la portion de membrane régulière et le nombre total de deuxièmes ondulations que comporte la portion de membrane régulière est inférieur ou égale à trois.

[0036] Ainsi, ces critères permettent de limiter, dans au moins une direction, la distance maximale entre deux côtés d'une portion de membrane ancrés à la barrière isolante. Cela permet de garantir à la portion de membrane d'être suffisamment résistante

aux contraintes qu'elle subit en service, notamment aux surpressions, en plafonnant les distances maximales entre les ancrages à la barrière isolante, dans au moins une direction.

[0037] Selon un mode de réalisation, la barrière thermiquement isolante comporte une pluralité de blocs isolants parallélépipédiques rectangles juxtaposés les uns aux autres, chaque bloc isolant comportant une garniture calorifuge et un panneau de couvercle tourné vers l'intérieur de la cuve, une face supérieure du panneau de couvercle opposée à la garniture calorifuge portant une platine d'ancrage métallique, l'ensemble des faces supérieures des panneaux de couvercle formant une surface de support pour la membrane d'étanchéité.

[0038] Selon un mode de réalisation, les platines d'ancrage comportent des premières platines d'ancrage s'étendant dans la première direction et des deuxièmes platines d'ancrage s'étendant dans la deuxième direction.

[0039] Selon un mode de réalisation, la membrane d'étanchéité comporte une pluralité de plaques métalliques ondulées de forme rectangulaire soudées les unes aux autres, chaque plaque métallique ondulée comportant deux bords parallèles à la première direction et deux bords parallèles à la deuxième direction, chaque portion de membrane régulière ou chaque portion de membrane singulière comportant une ou plusieurs dites plaques métalliques ondulées.

[0040] Selon un mode de réalisation, chaque portion de membrane singulière et/ou chaque portion de membrane régulière comporte au moins un ancrage à la barrière thermiquement isolante sur chaque côté du pourtour extérieur polygonal.

[0041] Selon un mode de réalisation, chaque ancrage à la barrière thermiquement isolante est disposé continûment sur tout le pourtour extérieur polygonal.

[0042] Une telle cuve peut faire partie d'une installation de stockage terrestre, par exemple pour stocker du GNL ou être installée dans une structure flottante, côtière ou en eau profonde, notamment un navire méthanier, une unité flottante de stockage et de regazéification (FSRU), une unité flottante de production et de stockage déporté (FPSO) et autres. Une telle cuve peut aussi servir de réservoir de carburant dans tout type de navire.

[0043] 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.

[0044] Selon un mode de réalisation, l'invention fournit aussi un système de transfert pour un produit liquide froid, le système comportant le navire précité, des canalisations isolées agencées de manière à relier la cuve installée dans la coque du navire à une installation de stockage flottante ou terrestre et une pompe pour entrainer un flux de produit liquide froid à travers les canalisations isolées depuis ou vers l'installation de stockage flottante ou terrestre vers ou depuis la cuve du navire.

[0045] Selon un mode de réalisation, l'invention fournit aussi un procédé de chargement ou déchargement d'un tel navire, dans lequel on achemine un produit liquide froid à travers des canalisations isolées depuis ou vers une installation de stockage flottante ou terrestre vers ou depuis la cuve du navire.

Brève description des figures

[0046] 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.

[0047] [fig.1] La [fig.1] est une représentation schématique partielle en coupe d'une cuve étanche et thermiquement isolante dans la zone d'un pied de support.

[0048] [fig.2] La [fig.2] est une vue du détail II de la [fig.1] pour une cuve de l'art antérieur.

[0049] [fig.3] La [fig.3] est une vue du détail II de la [fig.1] pour une cuve selon l'invention.

[0050] [fig.4] La [fig.4] représente une vue de dessus schématique partielle d'une paroi de fond au niveau d'un pied de support et selon un premier mode de réalisation.

[0051] [fig.5] La [fig.5] représente une vue de dessus schématique partielle d'une paroi de fond au niveau d'un pied de support et selon un deuxième mode de réalisation.

[0052] [fig.6] La [fig.6] représente une vue de dessus schématique partielle d'une paroi de fond au niveau d'un pied de support et selon un troisième mode de réalisation.

[0053] [fig.7] La [fig.7] est une représentation schématique écorchée d'un navire méthanier comportant une cuve étanche et thermiquement isolante et d'un terminal de chargement/déchargement de cette cuve.

Description des modes de réalisation

[0054] Sur la [fig.1], on voit partiellement une cuve étanche et thermiquement isolante 71 destinée au stockage et/ou au transport de gaz liquéfié et constituée d'une paroi de fond 1 fixée à la surface intérieure d'une structure porteuse 2. La structure porteuse 2 est par exemple la coque intérieure d'un navire à double coque ou une construction située à terre. Pour contenir un liquide froid comme du GNL, les parois de cuve comportent au moins une membrane d'étanchéité 4 et au moins une barrière thermiquement isolante 3 située entre la membrane d'étanchéité 4 et la structure porteuse 2. Par mesure de sécurité, il est possible de prévoir une membrane d'étanchéité secondaire et une barrière thermiquement isolante secondaire, non représentées, entre la structure porteuse et la barrière thermiquement isolante 3, qui est dite primaire dans ce cas.

[0055] Le gaz liquéfié destiné à être stocké dans la cuve 71 peut notamment être un gaz naturel liquéfié (GNL), c'est-à-dire un mélange gazeux comportant majoritairement du méthane ainsi qu'un ou plusieurs autres hydrocarbures. Le gaz liquéfié peut également être de l'éthane ou un gaz de pétrole liquéfié (GPL), c'est-à-dire un mélange

d'hydrocarbures issu du raffinage du pétrole comportant essentiellement du propane et du butane.

[0056] La cuve 71 peut être réalisée selon différentes géométries bien connues, par exemple une géométrie prismatique dans la coque d'un navire ou une géométrie cylindrique à terre ou autre. Par ailleurs, de nombreuses méthodes sont disponibles pour réaliser les barrières thermiquement isolantes et les membranes d'étanchéité, par exemple à partir d'éléments préfabriqués.

[0057] Dans la paroi de fond 1 de la cuve, on a représenté un élément rigide allongé, constituant un pied de support 5, qui s'étend à travers la barrière thermiquement isolante 3 et la membrane d'étanchéité 4, de sorte qu'une partie du pied de support 5 prend appui contre la structure porteuse 2 et qu'une autre partie fait saillie dans la cuve à distance de la membrane d'étanchéité 4. Le pied de support 5 peut par exemple servir à supporter un équipement 7 devant être immergé dans la cuve. Par exemple, pour supporter une pompe de déchargement 7, une tour de chargement/déchargement 6 peut être disposée dans la cuve comme représentée schématiquement en [fig.1]. A la place d'une tour de chargement/déchargement 6, la cuve 71 peut comporter des conduites de chargement et de déchargement non liées l'une à l'autre et guidées à l'aide du pied de support 5.

[0058] Dans le cas d'une tour de chargement/déchargement 6, celle-ci comporte une structure formée de plusieurs mâts reliés à une extrémité inférieure les uns aux autres à l'aide d'une base. La tour de chargement/déchargement 6 comporte de plus un dispositif de guidage qui est fixé contre la face inférieure de la base et qui coopère avec le pied de support 5.

[0059] Le pied de support 5 est configuré pour assurer un guidage en translation verticale de la tour de chargement/déchargement 6 (ou seulement des conduites de chargement et de déchargement), la pompe de déchargement 7 étant fixée à la tour de chargement/ déchargement 6 ou directement au pied de support 5.

[0060] Le pied de support 5 présente ici une forme de révolution à section circulaire, avec une partie inférieure tronconique 8 qui se raccorde au niveau de son extrémité de plus petit diamètre à une partie supérieure cylindrique 9. La base de plus grand diamètre de la partie tronconique 8 est en appui contre la structure porteuse 2. La partie tronconique 8 s'étend à travers l'épaisseur de la paroi de fond 1 au-delà du niveau de la membrane d'étanchéité 4.

[0061] La barrière thermiquement isolante 3 comporte une pluralité de blocs isolants (non représentés) parallélépipédiques rectangles juxtaposés les uns aux autres. Chaque bloc isolant peut comporter une garniture calorifuge et un panneau de couvercle tourné vers l'intérieur de la cuve, une face supérieure du panneau de couvercle opposée à la garniture calorifuge portant une platine d'ancrage métallique. De tels blocs

isolants sont par exemple décrits dans le document US6035795. L'ensemble des faces supérieures des panneaux de couvercle forme une surface de support pour la membrane d'étanchéité 4.

[0062] En référence notamment aux figures 3 et 4, la membrane d'étanchéité 4 est constituée d'une pluralité de plaques métalliques 10 ondulées dont la face dite interne est destinée à être en contact avec le fluide contenu dans la cuve. Les plaques métalliques 10 peuvent être réalisées notamment en acier inoxydable ou dans un alliage de fer et de nickel appelé Invar® et sont soudées entre elles au niveau de zones de recouvrement 11. Les soudures sont de type soudure à chevauchement. Les plaques métalliques 10 peuvent être conçues de diverses façons quant à leurs formes et dimensions, de sorte que les zones de soudure peuvent être diversement positionnées.

[0063] Les plaques métalliques 10 comportent, sur leur face interne, une première série d'ondulations 12 s'étendant dans une première direction et une deuxième série d'ondulations 13 s'étendant dans une deuxième direction qui perpendiculaire à la première direction.

[0064] La première série d'ondulations 12 présente ainsi une pluralité de premières ondulations 12 parallèles et mutuellement espacées dans la deuxième direction tandis que la deuxième série d'ondulations 13 présente une pluralité de deuxième ondulations 13 parallèles et mutuellement espacées dans la première direction. La membrane d'étanchéité 4 comporte des portions planes 14 situées entre les premières ondulations 12 et entre les deuxièmes ondulations 13 de sorte que les portions planes 14 reposent contre la barrière thermiquement isolante 3.

[0065] Les premières ondulations 12 présentent une hauteur supérieure aux deuxièmes ondulations 13. La hauteur d'une ondulation est mesurée entre la crête de l'ondulation et le niveau de la portion plane 14. La membrane d'étanchéité 4 comporte de plus des nœuds d'ondulations 15 formés au croisement entre une première ondulation 12 et une deuxième ondulation 13. Chaque nœud d'ondulation 15 présente une hauteur supérieure à la hauteur des premières ondulations 12. Les ondulations 12, 13 sont en saillie vers l'intérieur de la cuve 71.

[0066] Comme visible notamment en [fig.4], les plaques métalliques ondulées sont de forme rectangulaire soudées les unes aux autres, chaque plaque métallique ondulée comportant deux bords parallèles à la première direction et deux bords parallèles à la deuxième direction.

[0067] De plus, afin d'ancrer la membrane d'étanchéité 4 à la barrière thermiquement isolante 3, certaines plaques métalliques 10 sont soudées aux platines d'ancrage métalliques des blocs isolants de la barrière thermiquement isolante 3, notamment au niveau des zones de recouvrement 11.

[0068] Afin de limiter le volume de liquide qui ne peut pas être déchargé de la cuve 71, l'extrémité inférieure de la pompe de déchargement 7 est située au plus près de la membrane d'étanchéité 4 à une distance prédéfinie, de l'ordre de quelques centimètres.

[0069] Les figures 2 et 3 représentent plus particulièrement une vue agrandie de la zone située entre la pompe de déchargement 7 et la paroi de fond 1, la [fig.2] représentant cette zone selon l'art antérieur et la [fig.3] représentant cette zone selon l'invention.

[0070] Ainsi, comme visible sur la [fig.2], l'espacement entre la pompe de déchargement 7 et la membrane d'étanchéité 4 est minimal au niveau d'un nœud d'ondulation 15. Nous noterons pour la suite cet espacement comme l'espacement initial 22. Or, il a été constaté par les inventeurs que cette distance prédéfinie était amenée à varier sensiblement lors de l'exploitation de la cuve.

[0071] Afin de remédier au constat mentionné ci-dessus, il a été proposé selon l'invention représentée à la [fig.3], d'adapter la zone située sous la pompe de déchargement 7. Ainsi dans cette zone, la membrane d'étanchéité 4 ne comporte pas de première ondulation 12, et a fortiori de nœud d'ondulation 15. Ainsi, selon l'invention, seules des deuxièmes ondulations 13 sont présentes sous la pompe 7 de sorte que l'espacement entre la pompe de déchargement 7 et la membrane d'étanchéité 4 est minimal au niveau d'une crête de deuxième ondulation 13. Le gain d'espacement 23 par rapport à l'espacement initial 22 est ainsi égal à la différence de hauteur entre un nœud d'ondulation 15 et une deuxième ondulation 13, par exemple de l'ordre de 33mm avec des premières ondulations d'une hauteur d'environ 55mm et des deuxièmes ondulations d'une hauteur d'environ 37mm.

[0072] Selon une variante couverte par l'invention, non représentée, sous la pompe de déchargement 7, la membrane d'étanchéité 4 pourrait ne pas comporter de deuxième ondulation 13 et de première ondulation 12. Ainsi, la membrane d'étanchéité 4 est plane sous la pompe 7. Le gain d'espacement est ainsi égal à la hauteur d'un nœud d'ondulation, par exemple de l'ordre de 69mm.

[0073] Les figures 4 à 6 illustrent plus particulièrement l'agencement de la membrane d'étanchéité 4 de la paroi de fond 1 à proximité du pied de support 5 et de la pompe 7 selon différents modes de réalisation de la paroi de fond 1.

[0074] La [fig.4] présente une paroi de fond 1 selon un premier mode de réalisation comportant un pied de support 5 muni de deux pompes 7. La [fig.5] présente une paroi de fond 1 selon un deuxième mode de réalisation comportant un pied de support 5 muni de deux pompes 7 ainsi qu'un puisard 27 aligné avec le pied de support 5 selon la première direction. La [fig.6] présente une paroi de fond 1 selon un troisième mode de réalisation comportant un pied de support 5 muni de deux pompes 7 ainsi que deux puisards 27 situés de part et d'autre du pied de support 5 dans la première direction.

[0075] La membrane d'étanchéité 4 comporte une pluralité de portions de membrane 17, 18 juxtaposées et soudées les unes aux autres. Chaque portion de membrane 17, 18 est composée d'une ou plusieurs plaques métalliques 10 soudées les unes aux autres. Chaque portion de membrane 17, 18 est ici délimitée par un pourtour extérieur rectangulaire et comporte des ancrages 19 ancrant les plaques métalliques 10 à la barrière thermiquement isolante 3 le long des quatre côtés du pourtour extérieur rectangulaire. Les ancrages 19 des portions de membrane 17, 18 à la barrière thermiquement isolante 3 sont par exemple réalisés par des soudures entre les plaques métalliques 10 et les platines d'ancrage portées par les blocs isolants. Ces ancrages 19 sont matérialisés par des lignes plus épaisses sur les figures 4 à 6, et sont disposés continûment le long des quatre côtés du pourtour extérieur rectangulaire de chaque portion de membrane 17 ou 18 dans le mode de réalisation représenté. Dans le mode de réalisation représenté, ces ancrages 19 sont formés au niveau des zones de recouvrement 11 entre les plaques métalliques 10.

[0076] Sur les figures 4 à 6, les premières ondulations 12 et les deuxièmes ondulations 13 sont symbolisées par des lignes en pointillés, les croisements de ces lignes représentant les nœuds d'ondulation 15. L'emplacement de chaque pompe 7 au droit de la membrane d'étanchéité 4 est symbolisé par un cercle.

[0077] La membrane d'étanchéité 4 de la [fig.4] comporte plus particulièrement des portions de membrane régulières 17 et trois portions de membrane singulières 18. Les portions de membrane singulières 18 sont celles où des éléments internes à la cuve sont situés à proximité de la membrane d'étanchéité 4 et où des premières ondulations 12 ont été partiellement supprimées ou interrompues, comme représenté. Des portions de membrane régulières 17 sont donc assemblées entre elles et aux trois portions de membrane singulières 18 afin de former la membrane d'étanchéité 4.

[0078] Les portions de membrane régulières 17 présentent ainsi des premières ondulations 12 mutuellement espacées d'un premier pas d'onde 20, des deuxièmes ondulations 13 mutuellement espacées d'un deuxième pas d'onde 21 et, entre celles-ci, des portions planes régulières 14 présentant une dimension inférieure au premier pas d'onde 20 dans la deuxième direction et une dimension inférieure au deuxième pas d'onde 21 dans la première direction. Le premier pas d'onde 20 et le deuxième pas d'onde 21 sont mesurés crête à crête. Le premier pas d'onde 20 et le deuxième pas d'onde 21 peuvent être égaux comme représenté.

[0079] Comme visibles sur les figures 4 à 6, les portions de membrane singulières 18 présentent également des premières ondulations 12 formant une première série singulière d'ondulations, et des deuxièmes ondulations 13. Toutefois, au droit de chaque pompe de déchargement 7, les premières ondulations 12, ici au nombre de deux, sont interrompues afin de créer des zones dépourvues des premières ondulations

12 et où les deuxièmes ondulations 13 délimitent des portions planes singulières 24 ayant une dimension dans la deuxième direction comprise entre deux et trois fois le premier pas d'onde 20.

[0080] Comme représenté notamment en [fig.4], la première série singulière d'ondulations de chaque portion de membrane singulière 18 comporte ainsi deux groupes situés respectivement de part et d'autre des portions planes singulières 24 dans la deuxième direction. Chaque groupe est défini par une pluralité de premières ondulations 12 mutuellement espacées du premier pas d'onde 20, à savoir :

- pour les portions 18A et 18C : quatre premières ondulations 12 dans le groupe de droite et trois premières ondulations 12 dans le groupe de gauche.
- pour la portion 18B : deux ondulations 12 dans le groupe de droite et trois ondulations 12 dans le groupe de gauche.

[0081] Dans les trois modes de réalisations représentés, pour obtenir de manière avantageuse une flexibilité à la contraction/dilatation thermique dans la deuxième direction, on s'est assuré que chaque groupe, situé respectivement de part et d'autre d'une portion plane singulière 24, comporte un nombre de premières ondulations 12 supérieur ou égal au nombre de premières ondulations 12 qui ont été interrompues dans les portions planes singulières 24, ici dans l'exemple deux premières ondulations 12 interrompues. Dans ce mode de réalisation, les deuxièmes ondulations 13 ne sont pas interrompues au droit de chaque pompe de déchargement 7 de sorte qu'il existe une pluralité de portions planes singulières 24, au nombre de quatre sur la [fig.4] pour chaque pompe 7.

[0082] Les premières ondulations 12 interrompues juste avant les portions planes singulières 24 sont fermées à l'aide de capuchons d'onde 26 qui sont soudées aux plaques métalliques 10 de sorte à fermer de manière étanche les premières ondulations 12 interrompues.

[0083] Pour permettre le passage du pied de support 5 et relier ce dernier à la structure porteuse, les plaques métalliques ondulées 10 formant la membrane d'étanchéité 4 sont découpées de manière à délimiter une fenêtre octogonale 25 autour du pied de support 5. Pour réaliser la continuité de la membrane d'étanchéité 4 au niveau de la fenêtre 25, un assemblage étanche de pièces de liaisons est réalisé entre le pied de support 5 et les plaques métalliques 10 adjacentes.

[0084] De la même manière que pour l'interruption d'ondulations au niveau d'une portion plane singulière 24, les premières ondulations 12 et les deuxièmes ondulations 13 sont interrompues et sont fermées de manière étanche à l'aide de capuchons d'onde 26 sur les bords de la fenêtre 25.

[0085] Du fait de la proximité entre le pied de support 5 et les pompes 7, la fenêtre 25 est réalisée dans la portion de membrane singulière 18B. Les bords de la fenêtre 25 forment ainsi un pourtour intérieur pour la portion de membrane singulière 18B. Le

pourtour intérieur présente une forme octogonale dont chacun des côtés présente un ancrage 19 fixant les plaques métalliques 10 au pied de support 5. Ces ancrages 19 sont matérialisés par des lignes plus épaisses sur les figures 4 à 6, et sont disposés continûment le long des huit côtés du pourtour intérieur octogonal dans le mode de réalisation représenté.

[0086] Concernant la portion de membrane singulière 18B comportant la fenêtre 25, les distances mesurées dans la première direction et dans la deuxième direction entre tout bord de la fenêtre 25 et les côtés du pourtour extérieur de la portion de membrane singulière 18B les plus proches de ce bord sont inférieures ou égale à trois pas d'ondes 20 ou 21. En d'autres termes, au plus trois ondulations 12 ou 13 sont comptées entre un côté du pourtour extérieur et le côté du pourtour intérieur parallèle et le plus proche du côté du pourtour extérieur. En prenant pour exemple la [fig.4], la portion de membrane singulière 18B contenant la fenêtre 25 comporte à gauche du pied de support 5 deux premières ondulations 12, à droite du pied de support 5 trois premières ondulations 12, en haut du pied de support 5 trois deuxièmes ondulations et en bas du pied de support 5 trois deuxièmes ondulations 13. Ainsi, en limitant dans une direction le nombre d'ondulations 12, 13 par portion de membrane singulière 18, cela permet de garantir à la portion de membrane d'être suffisamment résistante aux contraintes qu'elle subit en service, notamment aux surpressions, en plafonnant les distances maximales entre les ancrages 19 à la barrière thermiquement isolante 3 ou au pied de support 5.

[0087] De la même manière pour les portions de membrane singulières 18A et 18C sans fenêtre 25, on a plafonné les distances maximales entre les ancrages 19 en assurant que au moins l'un parmi le nombre total de premières ondulations 12 que comporte la portion de membrane singulière 18 et le nombre total de deuxièmes ondulations 13 que comporte la portion de membrane singulière 18 est inférieur ou égale à trois.

[0088] Enfin toujours pour les mêmes raisons, concernant cette fois les portions de membrane régulières 17, au moins l'un parmi le nombre total de premières ondulations 12 que comporte la portion de membrane régulière 17 et le nombre total de deuxièmes ondulations 13 que comporte la portion de membrane régulière 17 est inférieur ou égale à trois.

[0089] De plus dans l'exemple illustré en [fig.4], les portions de membrane singulières 18A-C et les portions de membrane régulières 17 comportent avantageusement des ancrages 19 à la barrière thermiquement isolante 3 disposés continûment sur tout le pourtour extérieur. De plus, la portion de membrane singulière 18B comporte avantageusement des ancrages 19 au pied de support 5 disposés continûment sur tout le pourtour intérieur.

[0090] Sur la [fig.4], seuls les ancrages 19 de trois portions de membranes singulières 18A-C et d'une portion de membrane régulière 17 sont représentés. Ainsi, comme visible

sur cette figure, l'assemblage des trois portions de membranes singulières 18A-C et de la portion de membrane régulière 17 pour lesquelles les ancrages 19 sont représentés, sont adjacentes les unes aux autres de sorte à former ensemble un rectangle contenant le pied de support 5 et situé au droit des deux emplacements des pompes 7. Dans ce mode de réalisation, la longueur de la portion de membrane singulière 18B et la longueur de la portion de membrane régulière 17 s'étendent selon la première direction et sont contigus de manière à pouvoir être soudées l'une à l'autre. De plus, tel que représenté, chaque pompe 7 se situe à l'interface entre deux portions de membranes singulières 18A-C. Ainsi, l'une des pompes se situe à cheval entre les portions de membranes singulières 18A et 18B, tandis que l'autre pompe se situe à cheval entre les portions de membranes singulières 18B et 18C.

[0091] Toutefois, dans un autre mode de réalisation, les portions de membrane singulières 18A-C et les portions de membrane régulières 17 de la [fig.4] peuvent comporter des ancrages 19 à la barrière thermiquement isolante 3 disposés non continûment sur tout le pourtour extérieur. De préférence, au moins un ancrage par côté est réalisé.

[0092] La [fig.5] concerne un deuxième mode de réalisation qui diffère du premier mode de réalisation par la présence d'un puisard 27. Les éléments identiques ou similaires à ceux de la [fig.4] portent le même chiffre de référence et ne sont pas décrits à nouveau.

[0093] Afin de maximiser le rendement d'exploitation d'une cuve, il est souhaitable d'optimiser le volume utile de cargaison qu'il est possible de charger dans la cuve et de décharger depuis la cuve 71. L'utilisation d'une pompe aspirant le liquide vers le haut de la cuve oblige à conserver une certaine hauteur de liquide en fond de cuve, faute de quoi l'organe d'aspiration de la pompe entre en communication avec la phase gazeuse, ce qui désamorce et/ou dégrade la pompe. C'est pourquoi il est connu de réaliser un puisard 27 sur la paroi de fond 1 d'une telle cuve interrompant localement la membrane d'étanchéité 4 de sorte à former également une nouvelle fenêtre 25. Le puisard 27 comprend un récipient s'enfonçant à travers la paroi de fond 1 de la cuve 71 de manière à ce que le liquide dans le récipient soit au niveau le plus bas de la cuve.

[0094] La membrane d'étanchéité 4 est ainsi interrompue autour d'un puisard 27 de la même manière qu'autour du pied de support 5. Dans le mode de réalisation de la [fig.5], le puisard 27 est disposé dans l'alignement du pied de support 5 selon la première direction de sorte à encadrer avec le pied de support l'une des pompes 7, cette dernière étant décalée latéralement selon la deuxième direction par rapport au pied de support 5 et au puisard.

[0095] Ainsi, trois portions de membrane singulières 18A, 18B, 18C sont aussi délimitées. La portion 18C contient la fenêtre 25 accueillant le puisard 27. La portion 18B contient toujours la fenêtre 25 accueillant le pied de support 5. Tout comme dans le mode de réalisation de la [fig.4], l'une des pompes 7 est disposée au droit de l'interface entre

la portion de membrane singulière 18A et la portion de membrane singulière 18B de sorte à être positionnée au-dessus de portions planes singulières 24 qui sont des zones où les premières ondulations 12 ont été interrompues. De manière similaire, l'autre des pompes 7 est disposée au droit de l'interface entre la portion de membrane singulière 18B et la portion de membrane singulière 18C.

[0096] Ces portions de membrane singulières 18A-18C sont symbolisées sur les figures 4 à 6 par des rectangles en pointillés.

[0097] La [fig.6] concerne un troisième mode de réalisation qui diffère du deuxième mode de réalisation par la présence d'un deuxième puisard 27 qui est disposé symétriquement au premier puisard par rapport au pied de support 5 de sorte que les puisards 27 sont disposés de part et d'autre du pied de support 5 dans la première direction. Les éléments identiques ou similaires à ceux de la [fig.5] portent le même chiffre de référence et ne sont pas décrits à nouveau. Ainsi, trois portions de membrane singulières 18A, 18B, 18C sont aussi délimitées. Les portions 18A et 18C contiennent chacune une fenêtre 25 accueillant un puisard 27 et la portion 18B contient toujours la fenêtre 25 accueillant le pied de support 5. De la même manière que le mode de réalisation de la [fig.5], l'une des pompes 7 est disposée au droit de l'interface entre la portion de membrane singulière 18A et la portion de membrane singulière 18B de sorte à être positionnée au-dessus de portions planes singulières 24. De manière similaire, l'autre des pompes 7 est disposée au droit de l'interface entre la portion de membrane singulière 18B et la portion de membrane singulière 18C.

[0098] Sur les figures 5 et 6, seuls les ancrages 19 des trois portions de membrane singulières 18A, 18B, 18C ont été illustrés. De plus, dans ces modes de réalisation, les portions de membrane singulières 18A-C comporte des ancrages 19 à la barrière thermiquement isolante 3 disposés non continûment sur tout le pourtour extérieur. De préférence, au moins un ancrage par côté est réalisé. En plus des ancrages 19 sur le pourtour extérieur et sur les pourtours intérieurs des fenêtres 25, les trois portions de membrane singulières 18A, 18B, 18C comportent également des ancrages 19 discontinus disposés entre le pourtour intérieur et le pourtour extérieur. Ainsi, par exemple comme représenté en [fig.5] ou 6, les ancrages discontinus peuvent s'étendre depuis le pourtour extérieur que ce soit à l'interface entre deux portions de membrane singulières 18 ou dans l'une des portions de membrane singulières 18. Les ancrages discontinus peuvent également s'étendre parallèlement à l'un des côtés du pourtour extérieur et à distance des côtés du pourtour extérieur et des côtés du pourtour intérieur.

[0099] Dans le mode de réalisation de la [fig.3], dans lequel les premières ondulations 12 sont plus hautes que les deuxièmes ondulations 13, il a été choisi de ne garder que les ondulations les plus basses, les deuxièmes ondulations 13 présentes sous la pompe

7. Dans un autre mode de réalisation non représenté de l'invention, les premières ondulations 12 peuvent être plus basses que les deuxièmes ondulations 13. Dans un tel cas, ce sont les ondulations les plus hautes qui sont gardées sous la pompe 7.

[0100] En supprimant des premières ondulations 12 sous la pompe de déchargement 7 dans chaque portion de membrane singulière, quelle que soit la hauteur de l'ondulation concernée, l'objectif recherché par l'invention est atteint car un gain d'espacement 23 est créé grâce à la suppression des nœuds d'ondulation 15 sous la pompe de déchargement 7. Ainsi, même si les ondulations les plus hautes restent présentes sous la pompe 7, l'espacement entre la pompe de déchargement 7 et la membrane d'étanchéité 4 est néanmoins augmenté par rapport à l'art antérieur. Cet espacement est toujours mesuré au niveau d'une crête de la deuxième ondulation 13. Le gain d'espacement est ainsi égal à la différence de hauteur entre un nœud d'ondulation 15 et une deuxième ondulation 13, par exemple de l'ordre de 15mm avec des premières ondulations d'un hauteur d'environ 37mm et des deuxièmes ondulations d'une hauteur d'environ 55mm et des nœuds 15 d'une hauteur d'environ 70mm.

[0101] L'invention a été décrite en lien avec une pompe de déchargement 7. Toutefois, celle-ci s'applique bien entendu à tout élément interne à la cuve 71 situé à proximité de la membrane d'étanchéité 4.

[0102] Les ondulations de la membrane pourraient être formées d'une manière différente, par exemple comme décrit dans KR-A-20050050170. Ainsi, les nœuds d'ondulation 15 et les ondulations 12, 13 pourraient présenter une forme différente que celle représentée notamment en [fig.3].

[0103] En référence à la [fig.7], 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 barrières thermiquement isolantes agencées respectivement entre la membrane d'étanchéité primaire et la membrane d'étanchéité secondaire et entre la membrane d'étanchéité secondaire et la double coque 72.

[0104] 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.

[0105] La [fig.7] 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.

[0106] 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.

[0107] 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.

[0108] 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.

[0109] Dans les revendications, tout signe de référence entre parenthèses ne saurait être interprété comme une limitation de la revendication.

Revendications

[Revendication 1] Cuve étanche et thermiquement isolante (71) intégrée dans une structure porteuse (2) comportant une paroi porteuse, ladite cuve comportant une paroi de cuve (1) fixée sur la paroi porteuse de la structure porteuse (2), dans laquelle la paroi de cuve (1) comporte dans une direction d'épaisseur de l'extérieur vers l'intérieur de la cuve, au moins une barrière thermiquement isolante (3) et au moins une membrane d'étanchéité (4) supportée par la barrière thermiquement isolante (3) et destinée à être en contact avec le fluide contenu dans la cuve,
dans laquelle la membrane d'étanchéité (4) comporte une pluralité de portions de membrane juxtaposées et soudées les unes aux autres, chaque portion de membrane étant délimitée par un pourtour extérieur polygonal,
dans laquelle la pluralité de portions de membrane comprend au moins une portion de membrane régulière (17), la portion de membrane régulière (17) comportant une première série régulière d'ondulations, la première série régulière d'ondulations étant constituée de premières ondulations (12) parallèles s'étendant dans une première direction et mutuellement espacées d'un premier pas d'onde (20) dans une deuxième direction perpendiculaire à la première direction
la portion de membrane régulière (17) comportant des portions planes régulières (14) situées entre les premières ondulations (12) de la première série régulière d'ondulations et reposant sur la barrière thermiquement isolante (3), les portions planes régulières présentant une dimension inférieure au premier pas d'onde (20) dans la deuxième direction,
dans laquelle la pluralité de portions de membrane comprend au moins une portion de membrane singulière (18), la portion de membrane singulière (18) comportant une première série singulière d'ondulations, la première série singulière d'ondulations étant constituée de premières ondulations (12) parallèles s'étendant dans la première direction, la portion de membrane singulière (18) comportant une portion plane singulière (24) ayant une dimension dans la deuxième direction strictement supérieure à N fois le premier

pas d'onde (20), N étant un entier naturel non nul, l'entier naturel N étant de préférence supérieur ou égal à 2,
la portion de membrane régulière (17) étant adjacente à la portion de membrane singulière (18) dans la deuxième direction,
dans laquelle la première série singulière d'ondulations comporte au moins deux premières ondulations situées respectivement de part et d'autre de la portion plane singulière (24) dans la deuxième direction,
et dans laquelle la cuve comporte un espace interne délimité par la membrane d'étanchéité (4), la cuve comportant un élément interne (7) situé dans l'espace interne de la cuve,
la portion plane singulière (24) de la portion de membrane singulière (18) étant située au droit et à distance de l'élément interne (7) dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve (1).

[Revendication 2] Cuve étanche et thermiquement isolante (71) selon la revendication 1, dans laquelle la première série singulière d'ondulations comporte deux groupes situés respectivement de part et d'autre de la portion plane singulière (24) dans la deuxième direction, chaque groupe comportant au moins N premières ondulations (12) mutuellement espacées du premier pas d'onde (20) dans la deuxième direction, N étant ledit entier naturel de préférence supérieur ou égal à 2, la portion de membrane singulière (18) comportant des portions planes régulières (14) situées entre les premières ondulations (12) d'un même groupe.

[Revendication 3] Cuve étanche et thermiquement isolante (71) selon la revendication 1 ou la revendication 2, dans laquelle la portion de membrane régulière (17) est adjacente à la portion de membrane singulière (18) dans la deuxième direction de sorte qu'une dite première ondulation de la portion de membrane régulière (17) adjacente au pourtour extérieur soit distante d'une dite première ondulation de la portion de membrane singulière (18) d'une dimension égale au premier pas d'onde (20) dans la deuxième direction.

[Revendication 4] Cuve étanche et thermiquement isolante (71) selon l'une des revendications 1 à 3, dans laquelle l'élément interne (7) est situé à une distance prédéfinie de la portion plane singulière (24) dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve (1), la distance prédéfinie étant inférieure à 200mm, la distance étant mesurée lorsque la cuve est vide.

[Revendication 5] Cuve étanche et thermiquement isolante (71) selon l'une des revendications 1 à 4, dans laquelle la membrane d'étanchéité (4) comporte une deuxième série d'ondulations, la deuxième série d'ondulations étant constituée de deuxièmes ondulations (13) parallèles s'étendant dans la deuxième direction, lesdites portions planes régulières et singulières étant situées entre lesdites deuxièmes ondulations (13), la portion de membrane singulière (18) comportant au moins deux portions planes singulières (24) situées de part et d'autre d'une dite deuxième ondulation.

[Revendication 6] Cuve étanche et thermiquement isolante (71) selon la revendication 5, dans laquelle les deuxièmes ondulations (13) de la deuxième série d'ondulations sont mutuellement espacées d'un deuxième pas d'onde dans la première direction, le deuxième pas d'onde étant de préférence identique entre lesdites portions planes régulières et singulières.

[Revendication 7] Cuve étanche et thermiquement isolante (71) selon la revendication 5 ou 6, dans laquelle les deuxièmes ondulations (13) présentent une hauteur dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve (1) inférieure à une hauteur dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve (1) des premières ondulations (12).

[Revendication 8] Cuve étanche et thermiquement isolante (71) selon l'une des revendications 5 à 7, dans laquelle la membrane d'étanchéité (4) comporte des nœuds d'ondulations, chaque nœud d'ondulation étant formé au croisement entre une dite première ondulation et une dite deuxième ondulation et présentant une hauteur dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve (1) supérieure à la hauteur des premières ondulations (12).

[Revendication 9] Cuve étanche et thermiquement isolante (71) selon l'une des revendications 1 à 8, dans laquelle la portion de membrane singulière (18) comporte une fenêtre (25) délimitée par un pourtour intérieur polygonal, dans laquelle la cuve comporte un pied de support (5) fixé à la structure porteuse (2) et s'étendant à travers la paroi de cuve (1) et à travers ladite fenêtre (25), la portion de membrane singulière (18) comportant au moins un ancrage (19) au pied de support (5) sur au moins un côté du pourtour intérieur polygonale, l'ancrage (19) au pied de support étant de préférence sur chaque côté du pourtour intérieur polygonale.

[Revendication 10] Cuve étanche et thermiquement isolante (71) selon la revendication 9, dans laquelle l'élément interne (7) est relié au pied de support (5).

[Revendication 11] Cuve étanche et thermiquement isolante (71) selon la revendication 9 ou 10 prise en combinaison avec l'une des revendications 5 à 8, dans laquelle, entre tout côté du pourtour intérieur et tout côté du pourtour extérieur de la portion de membrane singulière (18), au moins l'un parmi un nombre des premières ondulations (12) et un nombre des deuxièmes ondulations (13) que comporte la portion de membrane singulière (18) est inférieur ou égale à trois.

[Revendication 12] Cuve étanche et thermiquement isolante (71) selon l'une des revendications 5 à 8, dans laquelle au moins l'un parmi le nombre total de premières ondulations (12) que comporte la portion de membrane singulière (18) et le nombre total de deuxièmes ondulations (13) que comporte la portion de membrane singulière (18) est inférieur ou égale à trois.

[Revendication 13] Cuve étanche et thermiquement isolante (71) selon l'une des revendications 1 à 12, dans laquelle la barrière thermiquement isolante (3) comporte une pluralité de blocs isolants parallélépipédiques rectangles juxtaposés les uns aux autres, chaque bloc isolant comportant une garniture calorifuge et un panneau de couvercle tourné vers l'intérieur de la cuve, une face supérieure du panneau de couvercle opposée à la garniture calorifuge portant une platine d'ancrage métallique, l'ensemble des faces supérieures des panneaux de couvercle formant une surface de support pour la membrane d'étanchéité (4).

[Revendication 14] Cuve étanche et thermiquement isolante (71) selon l'une des revendications 1 à 13, dans laquelle la membrane d'étanchéité (4) comporte une pluralité de plaques métalliques ondulées de forme rectangulaire soudées les unes aux autres, chaque plaque métallique ondulée comportant deux bords parallèles à la première direction et deux bords parallèles à la deuxième direction, chaque portion de membrane régulière ou chaque portion de membrane singulière comportant une ou plusieurs dites plaques métalliques ondulées.

[Revendication 15] Cuve étanche et thermiquement isolante (71) selon l'une des revendications 1 à 14, dans laquelle chaque portion de membrane singulière et/ou chaque portion de membrane régulière comporte au moins un ancrage (19) à la barrière thermiquement isolante (3) sur chaque côté du pourtour extérieur polygonal, chaque ancrage à

la barrière thermiquement isolante (3) étant de préférence disposé continûment sur tout le pourtour extérieur polygonal

[Revendication 16] Navire (70) pour le transport d'un produit liquide froid, le navire comportant une double coque (72) et une cuve (71) selon l'une des revendications 1 à 15 disposée dans la double coque.

[Revendication 17] Système de transfert pour un produit liquide froid, 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 produit liquide froid à travers les canalisations isolées depuis ou vers l'installation de stockage flottante ou terrestre vers ou depuis la cuve du navire.

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