

Description

Titre de l'invention : Cuve étanche et thermiquement isolante

Domaine technique

[0001] L'invention concerne le domaine des cuves, étanches et thermiquement isolantes pour le stockage et/ou le transport d'un 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, ou pour le transport de Gaz Naturel Liquéfié (GNL) à environ -162°C à pression atmosphérique.

[0002] 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] Le document WO2013093261 divulgue une cuve étanche et thermiquement isolante pour le stockage d'un gaz liquéfié dans un état d'équilibre liquide-vapeur. En raison des phénomènes de transfert thermique entre l'intérieur et l'extérieur de la cuve, le gaz liquéfié stocké dans la cuve absorbe de la chaleur, ce qui provoque son évaporation. Aussi, la cuve est équipée d'une conduite collectrice qui traverse une paroi de la cuve et qui est destinée à extraire de la vapeur du ciel gazeux de la cuve. La conduite collectrice débouche dans l'espace interne de la cuve pour définir un passage entre l'espace interne de la cuve et un collecteur de vapeur qui est agencé à l'extérieur de la cuve et qui est relié par exemple à un mât de dégazage. La conduite collectrice est raccordée au collecteur de vapeur par l'intermédiaire d'une soupape de sûreté qui est tarée afin d'assurer une évacuation du gaz en phase vapeur de la cuve, lorsque la pression de vapeur dans le ciel gazeux de la cuve est supérieure à une pression seuil. Ceci permet de contrôler la pression à l'intérieur de la cuve de manière à éviter les surpressions susceptibles d'endommager la cuve.

[0004] Les parois de la cuve étanche présentent une structure multicouche, c'est-à-dire comportent successivement, de l'extérieur vers l'intérieur de la cuve, une barrière thermiquement isolante secondaire, une membrane étanche secondaire, une barrière thermiquement isolante primaire et une membrane étanche primaire. Afin d'assurer la continuité de la membrane étanche primaire autour de la conduite collectrice, celle-ci est reliée de manière étanche à la membrane étanche primaire par l'intermédiaire d'une collerette qui présente une section en forme de L et qui fait saillie à l'intérieur de l'espace

interne de la cuve. L'extrémité inférieure de la conduite collectrice fait donc saillie dans l'espace interne de la cuve, au-delà de la membrane primaire étanche.

[0005] Pour de raisons de sécurité, il convient de s'assurer que, lorsque la cuve est remplie à son niveau maximum, le ciel gazeux de la cuve demeure en communication avec l'intérieur de la conduite collectrice. Or, afin d'éviter que l'extrémité inférieure de la conduite collectrice ne soit immergée dans la phase liquide du gaz liquéfié, empêchant ainsi à la phase gazeuse présente en partie supérieure de l'espace interne de la cuve d'être extraite par la conduite collectrice, le niveau maximum de remplissage de la cuve est susceptible d'être diminué, ce qui n'est pas pleinement satisfaisant.

[0006] Cet inconvénient est outre particulièrement critique lorsque, afin de conférer davantage de souplesse à la liaison entre la membrane primaire étanche et la conduite collectrice, la hauteur de la collerette est importante et/ou lorsque l'espace interne de la cuve présente une faible hauteur.

Résumé

[0007] Une idée à la base de l'invention est de proposer une cuve équipée d'une conduite collectrice destinée à collecter de la vapeur dans le ciel gazeux de la cuve et traversant une paroi de plafond de la cuve et qui permette d'embarquer une quantité optimum de gaz liquéfié tout en permettant à la vapeur d'être extraite du ciel gazeux via ladite conduite collectrice et, cela quelle que soit la dimension verticale de la portion de ladite conduite collectrice de vapeur faisant saillie à l'intérieur de l'espace interne de la cuve.

[0008] Selon un mode de réalisation, l'invention fournit une cuve étanche et thermiquement isolante pour le stockage d'un gaz liquéfié, ladite cuve comportant :

- une pluralité de parois définissant un espace interne destiné au stockage du gaz liquéfié, la pluralité de parois comportant une paroi supérieure ; et
- une conduite collectrice destinée à extraire, de l'espace interne de la cuve, du gaz liquéfié en phase vapeur, ladite conduite collectrice traversant la paroi supérieure, et comportant une extrémité inférieure qui débouche dans l'espace interne et qui fait saillie vers le bas, au-delà de la paroi supérieure, jusqu'à une hauteur h ; et
- au moins un premier tuyau destiné à conduire du gaz liquéfié en phase vapeur de l'espace interne de la cuve vers la conduite collectrice, ledit premier tuyau comportant une première et une deuxième extrémités, la première extrémité étant située dans l'espace interne de la cuve, à l'extérieur de la conduite collectrice, et débouchant dans ledit espace interne à une hauteur h_1 supérieure à h , la deuxième extrémité débouchant à l'intérieur de la conduite collectrice à une hauteur h_2 supérieure à h , le premier tuyau comportant un

tronçon détourné qui passe en-dessous de l'extrémité inférieure de la conduite collectrice afin de relier la première et la seconde extrémités du premier tuyau.

[0009] Ainsi, le premier tuyau assure une communication fluidique entre le ciel gazeux et l'espace intérieur de la conduite collectrice même si l'extrémité inférieure de la conduite collectrice est immergée dans la phase liquide du gaz liquéfié.

[0010] Selon des modes de réalisation, une telle cuve peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes.

[0011] Selon un mode de réalisation, le tronçon détourné présente une forme de U.

[0012] Selon un mode de réalisation, la hauteur h est inférieure à un niveau de chargement maximal $h_{\max}$. Ainsi, le tuyau permet de remplir la cuve au-dessus de l'extrémité inférieure de la conduite collectrice tout en permettant l'extraction de vapeur du ciel gazeux en cas de surpression.

[0013] Selon un mode de réalisation, la hauteur h_1 est supérieure au niveau de chargement maximal $h_{\max}$.

[0014] Selon un mode de réalisation, la hauteur h_2 est supérieure au niveau de chargement maximal $h_{\max}$.

[0015] Selon un mode de réalisation, la conduite collectrice est raccordée à une soupape de sûreté qui est configurée pour extraire du gaz liquéfié en phase vapeur de la conduite collectrice lorsque la pression dans l'espace intérieur de la conduite collectrice est supérieure à une pression seuil P_s .

[0016] Selon un mode de réalisation, la pression seuil P_s satisfait à l'inégalité suivante :

$$P_s < P_{\text{design}} - \varphi * g * \min ; \text{ avec :}$$

$\min$: la plus petite valeur parmi $(h_2 - h_3)$ et l .

[0017] Selon un mode de réalisation, la pression seuil P_s satisfait à l'inégalité suivante :

$$P_s < P_{\text{design}} - \varphi * g * (h_2 - h_3) ; \text{ avec :}$$

P_{design} : la pression maximale de conception pour laquelle la cuve a été dimensionnée ;

φ : la masse volumique du gaz liquéfié destiné à être stocké dans la cuve ;

g : l'accélération normale de la pesanteur terrestre ;

h_2 : la hauteur de la deuxième extrémité du premier tuyau ; et

h_3 : une hauteur du point le plus bas du premier tuyau.

[0018] Selon un mode de réalisation, la pression seuil P_s satisfait en outre à l'inégalité suivante :

$$P_s > P_{\text{design}} - \varphi * g * (h_2 - h_3) - k ;$$

avec k compris entre 100 et 1000 Pa.

[0019] Selon un autre mode de réalisation, la pression seuil P_s satisfait à l'inégalité suivante :

$$P_s < P_{\text{design}} - \varphi * g * l ; \text{ avec :}$$

P_{design} : la pression maximale de conception pour laquelle la cuve a été dimensionnée ;

φ : la masse volumique du gaz liquéfié destiné à être stocké dans la cuve ;

g : l'accélération normale de la pesanteur terrestre ; et

l : une longueur du premier tuyau qui est susceptible d'être remplie de gaz liquéfié, lorsque la cuve est chargée de gaz liquéfié jusqu'à un niveau de chargement maximal h_{max} .

[0020] Selon un mode de réalisation, la pression seuil P_s satisfait en outre à l'inégalité suivante :

$$P_s > P_{\text{design}} - \varphi * g * l - k ;$$

avec k compris entre 100 et 1000 Pa.

[0021] Selon un mode de réalisation, la paroi supérieure comporte une membrane primaire étanche destinée à être en contact avec le gaz liquéfié stocké dans la cuve, la membrane primaire étanche présentant des ondulations faisant saillie vers l'intérieur de la cuve et la conduite collectrice fait saillie à l'intérieur de l'espace interne, au-delà des ondulations de la membrane primaire étanche.

[0022] Selon un mode de réalisation, la conduite collectrice fait saillie à l'intérieur de l'espace interne, au-delà de la paroi supérieure, d'une distance verticale supérieure à 80 mm, de préférence supérieure à 100 mm, par exemple de l'ordre de 150 mm.

[0023] Selon un mode de réalisation, la cuve comporte une ou plusieurs lignes destinées au chargement et/ou au déchargement de la cuve qui passent à l'intérieur de la conduite collectrice. Ainsi, la conduite collectrice forme à la fois une structure de dôme gaz et une structure de dôme liquide, ce qui permet de simplifier la construction de la cuve et de diminuer son coût.

[0024] Selon un mode de réalisation, la paroi supérieure comporte au moins une barrière thermiquement isolante primaire et une membrane primaire étanche retenue à la barrière thermiquement isolante primaire, la paroi supérieure comportant des platines d'ancrages métalliques qui sont fixées sur la barrière thermiquement isolante primaire et sur lesquelles sont soudées de manière étanche des tôles métalliques de la membrane primaire étanche, le premier tuyau étant ancré dans une zone d'ancrage ménagée sur l'une des platines d'ancrage métalliques ou ménagée sur une portion de la membrane

primaire étanche qui est ancrée à l'une des platines d'ancrage métalliques. Ceci permet d'éviter un arrachement de la membrane primaire étanche.

[0025] Selon un mode de réalisation, la cuve comporte un deuxième tuyau destiné à conduire du gaz liquéfié en phase vapeur de l'espace interne de la cuve vers la conduite collectrice, ledit deuxième tuyau comportant une première et une deuxième extrémités, la première extrémité étant située dans l'espace interne de la cuve, à l'extérieur de la conduite collectrice, et débouchant dans ledit espace interne à une hauteur h_1 supérieure à h , la deuxième extrémité débouchant à l'intérieur de la conduite collectrice à une hauteur h_2 supérieure à h .

[0026] Selon un mode de réalisation, la première extrémité du premier tuyau et la première extrémité du deuxième tuyau sont disposés de part et d'autre d'un plan vertical longitudinal médian de la cuve.

[0027] Selon un mode de réalisation, la première extrémité du premier tuyau et la première extrémité du deuxième tuyau sont disposées à proximité de deux extrémités de la paroi supérieure, opposées l'une à l'autre selon une direction transversale perpendiculaire à la direction longitudinale du navire

[0028] Selon un mode de réalisation, le plan vertical longitudinal médian de la cuve est parallèle à la direction longitudinale du navire sur laquelle est intégrée la cuve et passe par le centre de gravité du navire.

[0029] Selon un mode de réalisation, la paroi supérieure recouvre l'espace interne.

[0030] 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.

[0031] Selon un mode de réalisation, l'invention fournit un navire pour le transport d'un fluide, le navire comportant une double coque et une cuve précitée, disposée dans la double coque.

[0032] 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.

[0033] Selon un mode de réalisation, l'invention fournit aussi un système de transfert pour un fluide, le système comportant le navire précité, des canalisations isolées agencées de

manière à relier la cuve installée dans la coque du navire à une installation de stockage flottante ou terrestre et une pompe pour entraîner un fluide à travers les canalisations isolées depuis ou vers l'installation de stockage flottante ou terrestre vers ou depuis la cuve du navire.

Brève description des figures

[0034] 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.

[0035] [fig.1] La figure 1 est une vue schématique, en coupe transversale, d'une cuve étanche et thermiquement isolante équipée d'une conduite collectrice et d'un tuyau destiné à conduire de la vapeur du ciel gazeux de la cuve vers l'espace intérieur de la conduite collectrice.

[0036] [fig.2] La figure 2 est une vue de face illustrant de manière détaillée la conduite collectrice et le tuyau de la figure 1.

[0037] [fig.3] La figure 3 est une vue de dessous en perspective illustrant de manière détaillée la conduite collectrice et le tuyau de la figure 1.

[0038] [fig.4] La figure 4 est une vue schématique, en coupe transversale, d'une cuve étanche et thermiquement isolante selon un autre mode de réalisation.

[0039] [fig.5] La figure 5 est une vue schématique d'une zone de la membrane d'étanchéité primaire de la paroi supérieure destinée à l'ancrage d'un tuyau, selon un premier mode de réalisation.

[0040] [fig.6] La figure 6 est une vue schématique d'une zone de la membrane étanche primaire de la paroi supérieure destinée à l'ancrage d'un tuyau, selon un second mode de réalisation.

[0041] [fig.7] La figure 7 illustre des moyens d'ancrage du tuyau à la paroi supérieure selon un mode de réalisation.

[0042] [fig.8] La figure 8 est une représentation schématique écorchée d'un navire comportant une cuve de stockage de gaz naturel liquéfié et d'un terminal de chargement/déchargement de cette cuve.

Description des modes de réalisation

[0043] En relation avec la figure 1, l'on observe une cuve 1 étanche et thermiquement isolante équipée d'une conduite collectrice 2 destinée à extraire du gaz liquéfié en phase vapeur de l'espace interne de la cuve. La cuve 1 est destinée à stocker un gaz liquéfié qui est par exemple choisi parmi le Gaz Naturel Liquéfié (GNL) et le gaz de pétrole liquéfié (GPL).

[0044] La cuve 1 est disposée à l'intérieur d'une structure porteuse 4 qui 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.

[0045] La cuve 1 est avantageusement une cuve à membranes. La cuve 1 présente une pluralité de parois définissant un espace interne 3 destiné au stockage du gaz liquéfié. Chaque paroi présente une structure multicouche et comporte dans la direction d'épaisseur de ladite paroi, de l'extérieur vers l'intérieur de la cuve 1, une barrière thermiquement isolante secondaire 5 reposant contre la structure porteuse 4, une membrane secondaire étanche 6 reposant contre la barrière thermiquement isolante secondaire 5, une barrière thermiquement isolante primaire 7 reposant contre la membrane secondaire étanche 6 et une membrane primaire étanche 8 destinée à être en contact avec le gaz liquéfié stocké dans la cuve 1 et reposant contre la barrière thermiquement isolante primaire 7. Selon un mode de réalisation alternatif, chaque paroi ne comporte qu'une membrane primaire étanche 8 et une barrière thermiquement isolante primaire 7 reposant contre la structure porteuse 4.

[0046] Selon un mode de réalisation de l'invention, la membrane primaire étanche 8 est une membrane ondulée. Ainsi, la membrane primaire étanche 8 comporte une pluralité de tôles métalliques comportant des ondulations faisant saillie vers l'espace interne 3 de la cuve 1 et permettant ainsi à la membrane primaire étanche 8 de se déformer sous l'effet des sollicitations thermiques et mécaniques générées par le gaz liquéfié emmagasiné dans la cuve 1. Une telle cuve 1 est par exemple de type Mark III ® telle que décrite dans la demande de brevet FR2691520. A titre d'exemple, la cuve 1 peut également être de type NO96 ®, telle que décrite dans la demande de brevet FR2877638.

[0047] Comme illustré sur la figure 1, la cuve 1 comporte une paroi de fond 9, une paroi supérieure 10 opposée à la paroi de fond 9, des parois latérales 11, 12, 13 reliant la paroi de fond 9 et la paroi supérieure 10 ainsi que des parois transversales 14 reliant également la paroi de fond 9 et la paroi supérieure 10. Dans le mode de réalisation représenté, la cuve 1 présente, en coupe selon un plan transversal, une section de forme octogonale. Ainsi, la cuve 1 présente des parois latérales verticales 11 et des parois latérales inclinées

12, 13 reliant chacune une des parois latérales verticales 11 à la paroi de fond 9 ou à la paroi supérieure 10.

[0048] La cuve 1 comporte une conduite collectrice 2 qui est destinée à extraire de la vapeur de gaz liquéfié contenue dans le ciel gazeux, c'est-à-dire la portion supérieure de l'espace interne 3 de la cuve 1 dans laquelle le gaz liquéfié est à l'état gazeux. La conduite collectrice 2 passe au travers de la paroi supérieure 10 de la cuve 1. La conduite collectrice 2 comporte une extrémité inférieure 15 ouverte qui débouche dans l'espace interne 3 de la cuve 1 et fait saillie vers le bas, au-delà de la paroi supérieure 10. L'extrémité inférieure 15 de la conduite collectrice 2 est positionnée à une hauteur h par rapport à la paroi de fond 9 de la cuve 1. La hauteur h est inférieure au niveau maximal $h_{\max}$ de remplissage de la cuve 1 de sorte que, lorsque la cuve 1 est chargée de gaz liquéfié jusqu'à son niveau maximal $h_{\max}$, l'extrémité inférieure 15 de la conduite collectrice 2 est immergée dans la phase liquide du gaz liquéfié. L'extrémité supérieure 16 de la conduite collectrice 2 est fermée de manière étanche par un couvercle 17.

[0049] L'espace intérieur 18 de la conduite collectrice 2 est raccordé à un collecteur de vapeur, non représenté, par l'intermédiaire d'au moins un conduit équipé d'une soupape de sureté 19. La soupape de sureté 19 est tarée de manière à assurer une évacuation du gaz en phase vapeur, lorsque la pression dans l'espace intérieur 18 de la conduite collectrice 2 dépasse une pression seuil P_s . Ainsi, la conduite collectrice 2 vise, en cas de surpression, à extraire de la vapeur du ciel gazeux et permet ainsi de contrôler la pression dans le ciel gazeux de manière à éviter les surpressions susceptibles d'endommager la cuve 1. A titre d'exemple, le collecteur de vapeur est agencé pour conduire la vapeur extraite vers un mât de dégazage, vers un bruleur, vers un dispositif de propulsion du navire ou vers un dispositif de liquéfaction dans lequel le gaz en phase vapeur est re-liquéfié puis réintroduit dans la cuve 1 en phase liquide. Dans le mode de réalisation représenté, l'espace intérieur 18 de la conduite collectrice 2 est raccordé au collecteur de vapeur par l'intermédiaire de deux soupapes de sureté 19, ce qui assure une redondance permettant d'améliorer la fiabilité de l'extraction de vapeur.

[0050] La conduite collectrice 2 est reliée de manière étanche à la membrane primaire étanche 8 de manière à assurer une continuité de l'étanchéité. Pour ce faire, la conduite collectrice 2 est reliée à la membrane primaire étanche 8 par l'intermédiaire d'une collerette 20 ayant une section en forme de L. La collerette 20 comporte une portion cylindrique d'orientation verticale et une bride annulaire d'orientation horizontale. La portion cylindrique est soudée de manière étanche tout autour de la conduite collectrice 2. La bride annulaire fait saillie horizontalement depuis l'extrémité supérieure de la portion cylindrique et est soudée de manière étanche à la membrane primaire étanche 8. Une

telle collerette 20 permet de conférer à la liaison entre la conduite collectrice 2 et la membrane primaire étanche 8 une flexibilité permettant d'absorber les contraintes thermiques et dynamiques.

[0051] De manière avantageuse, comme représenté sur la figure 1, la cuve 1 comporte une ou plusieurs lignes 21 destinées au chargement et/ou au déchargement de la cuve 1 qui passent à l'intérieur de la conduite collectrice 2 et traversent de manière étanche son couvercle 17. La ligne 21 lorsqu'elle est destinée à assurer le déchargement de la cuve 1 s'étend jusqu'au voisinage immédiat de la paroi de fond 9. L'extrémité inférieure de la ligne 21 est alors équipée d'une pompe de déchargement, non représentée sur la figure 1.

[0052] Selon un mode de réalisation non représenté, les lignes destinées au chargement et/ou au déchargement sont formées par des mâts verticaux d'une tour de chargement/déchargement. La tour de chargement/déchargement comporte, par exemple une structure tripode, c'est-à-dire qu'elle comporte trois mâts verticaux qui sont chacun fixés les uns aux autres par des traverses. Chacun des mâts est creux et traverse le couvercle 17 de la conduite collectrice 2. Chacun des mâts forme ainsi une ligne de chargement permettant de charger du gaz liquéfié vers la cuve 1, une ligne de déchargement permettant de décharger du gaz liquéfié de la cuve 1 ou un puits de secours permettant la descente d'une pompe de secours et d'une ligne de déchargement, en cas de défaillance d'une pompe de déchargement.

[0053] Ainsi, dans les modes de réalisation décrits ci-dessus, la conduite collectrice 2 forme à la fois une structure de dôme gaz et une structure de dôme liquide. En d'autres termes, les fonctionnalités de gestion de la pression du ciel gazeux ainsi que les fonctionnalités de chargement et/ou de déchargement de la cuve 1 en gaz liquéfié sont assurés par une seule structure, ce qui permet de simplifier la construction de la cuve 1 et de diminuer son coût, en limitant le nombre de structures particulières. Toutefois, en contrepartie, lorsque la conduite collectrice 2 sert également au passage d'au moins une ligne 21 de chargement et/ou de déchargement, elle présente un diamètre plus important, ce qui conduit à une augmentation de la dimension axiale de la collerette 20 afin de conférer une souplesse suffisante à la liaison entre la conduite collectrice 2 et la membrane d'étanchéité et à une augmentation de la dimension de la partie de la conduite collectrice 2 qui fait saillie à l'intérieur de la cuve 1.

[0054] Comme représenté sur les figures 2 et 3, lorsque la membrane primaire étanche 8 est une membrane ondulée comportant des ondulations faisant saillie vers l'espace interne 3 de la cuve 1, la conduite collectrice 2 fait saillie, à l'intérieur de l'espace interne 3 de la cuve 1, vers la paroi de fond 9, au-delà des ondulations.

[0055] Selon un mode de réalisation, la conduite collectrice 2 fait saillie à l'intérieur de la cuve 1, d'une distance supérieure à 80 mm, de préférence supérieure à 100 mm et par exemple de l'ordre de 150 mm par rapport au plan de référence de la membrane primaire étanche 8 de la paroi supérieure 10.

[0056] Par ailleurs, la cuve 1 est équipée d'un tuyau 22 qui est destiné à conduire du gaz liquéfié du ciel gazeux vers l'espace intérieur 18 de la conduite collectrice 2. Le tuyau 22 comporte une première extrémité 23 qui est située dans l'espace interne 3 de la cuve 1, à l'extérieur de la conduite collectrice 2. La première extrémité 23 débouche dans l'espace interne 3 de la cuve 1 à une hauteur h_1 qui est supérieure à la hauteur h de l'extrémité inférieure 15 de la conduite collectrice 2 et qui est en outre supérieure au niveau maximal de remplissage $h_{\max}$ de la cuve 1. Par ailleurs, le tuyau 22 comporte une deuxième extrémité 24 qui débouche dans l'espace intérieur 18 de la conduite collectrice 2 à une hauteur h_2 . La hauteur h_2 est supérieure à la hauteur h de l'extrémité inférieure 15 de la conduite collectrice 2 et supérieure au niveau maximal de remplissage $h_{\max}$.

[0057] Ainsi, la première et la deuxième extrémités 23, 24 du tuyau 22 se situent au-dessus du niveau maximal de remplissage $h_{\max}$ de la cuve 1 alors que l'extrémité inférieure 15 de la conduite collectrice 2 se situe en dessous de celui-ci, ce qui permet d'assurer une communication fluide entre le ciel gazeux de la cuve 1 et l'espace intérieur 18 de la conduite collectrice 2, même si l'extrémité inférieure 15 de la conduite collectrice 2 est immergée dans la phase liquide du gaz liquéfié.

[0058] Le tuyau 22 comporte, en outre, un tronçon détourné 25 qui passe en dessous de l'extrémité inférieure 15 de la conduite collectrice 2 afin de relier la première extrémité 23 et la deuxième extrémité 24 de la conduite collectrice 2. Dans le mode de réalisation représenté, le tronçon détourné 25 présente une forme de U qui permet audit tuyau 22 de passer en dessous de l'extrémité inférieure 15 de la conduite collectrice 2 de sorte à relier les première et deuxième extrémités 23, 24 du tuyau 22 sans avoir à traverser la portion de la conduite collectrice 2 qui fait saillie dans l'espace interne 3 de la cuve 1. La portion la plus basse du tronçon détourné 25 est disposée à une hauteur h_3 de la paroi de fond 9 de la cuve 1.

[0059] Comme représenté sur la figure 1, lorsque la cuve 1 est chargée de gaz liquéfié jusqu'à son niveau de chargement maximal $h_{\max}$ de sorte que l'extrémité inférieure 15 de la conduite collectrice 2 est immergée dans la phase liquide du gaz liquéfié, le tronçon détourné 25 du tuyau 22 est alors rempli de gaz liquéfié en phase liquide. Toutefois, le gaz liquéfié à l'état liquide qui est contenu dans le tronçon détourné 25 du tuyau 22 est

susceptible d'être chassée, dès lors que la différence de pression entre le ciel gazeux et l'espace intérieur 18 de la conduite collectrice 2 est suffisante.

[0060] De manière avantageuse, afin de garantir que, dans des conditions normales de navigation, la pression du ciel gazeux n'atteigne jamais la pression maximale P_{design} que la cuve 1 est susceptible de supporter, il est tenu compte de la surpression additionnelle nécessaire pour chasser le gaz liquéfié à l'état liquide du tuyau 22 pour dimensionner la géométrie du tuyau 22 et la pression seuil P_s de la soupape de sûreté 19.

[0061] Selon la géométrie du tuyau 22, le dimensionnement de la pression seuil P_s dépend, soit de la longueur l du tuyau 22 qui est susceptible d'être remplie de gaz liquéfié, lorsque la cuve 1 est chargée de gaz liquéfié jusqu'à son niveau de chargement maximal h_{max} , soit de la différence de hauteur h_2-h_3 . Notons que, dans le mode de réalisation de la figure 1, la longueur l correspond sensiblement à la longueur de la portion détournée du tuyau 22 qui est située en dessous du niveau de chargement maximal h_{max} , avantageusement la longueur l correspond à la longueur de la portion détournée du tuyau 22 qui est située en dessous du niveau de chargement maximal h_{max} .

[0062] Dans l'exemple choisi pour représenter l'invention, le tuyau 22 présente une forme en U avec une portion centrale s'étendant linéairement ; les deux extrémités opposées étant prolongées par deux portions distales. Lorsque la cuve ne subit aucune inclinaison, du fait du tangage ou du phénomène de roulis, la portion centrale du tuyau 22 s'étend horizontalement tandis que les deux portions distales s'étendent verticalement. Ainsi, le dimensionnement de la pression de seuil P_s est réalisé suivant deux cas de figures tenant compte de la hauteur du tuyau 22, c'est-à-dire de la longueur de chaque portion distale sous le niveau de chargement maximal h_{max} , et de la longueur de la portion centrale de ce tuyau 22 ; la longueur l correspondant ici à la somme des longueurs de la portion centrale et des deux portions distales sous le niveau de chargement maximal h_{max} . La longueur de la portion centrale du tuyau 22 permet de tenir compte notamment des phénomènes de roulis ou tangage du navire, et donc de l'inclinaison du gaz liquéfié, GPL/GNL ou autres, contenu dans la cuve. Bien entendu, toutes autres formes du tuyau 22, par exemple dans laquelle la portion centrale et les portions distales ne s'étendraient pas linéairement, ne modifieraient pas la fonction de ce tuyau 22 et de sa relation au dimensionnement de la pression de seuil P_s .

[0063] Selon un premier mode de réalisation, la longueur l du tuyau 22 qui est susceptible d'être remplie de gaz liquéfié, lorsque la cuve 1 est chargée de gaz liquéfié jusqu'à son niveau de chargement maximal h_{max} , est supérieure à la différence de hauteur h_2-h_3 .

Dans ce cas, la pression seuil P_s de la soupape de sureté 19 répond à l'inégalité suivante :

$$P_s < P_{\text{design}} - \varphi * g * (h_2 - h_3) ; \text{ avec}$$

P_s : la pression seuil de la soupape de sureté 19 ;

P_{design} : la pression maximale de conception pour laquelle la cuve 1 a été dimensionnée ;

φ : la masse volumique du gaz liquéfié destiné à être stocké dans la cuve 1 ;

g : l'accélération normale de la pesanteur terrestre ;

h_2 : la hauteur de la deuxième extrémité 24 du tuyau 22 ; et

h_3 : la hauteur du point le plus bas du tuyau 22.

[0064] De manière avantageuse, afin de ne pas sous-dimensionner la pression seuil P_s de la soupape de sureté 19 et perdre une capacité de montée en pression de la cuve 1, la pression seuil P_s répond également à l'inégalité suivante :

$$P_s > P_{\text{design}} - \varphi * g * (h_2 - h_3) - k ;$$

avec k compris entre 50 et 20 000 Pa, avantageusement compris entre 100 et 1000 Pa préférentiellement de l'ordre de 100 Pa.

[0065] Selon un second mode de réalisation, la longueur l du tuyau 22 qui est susceptible d'être remplie de gaz liquéfié, lorsque la cuve 1 est chargée de gaz liquéfié jusqu'à son niveau de chargement maximal h_{max} , est inférieure à la différence de hauteur $h_2 - h_3$.

Dans ce cas, la pression seuil P_s de la soupape de sureté 19 répond à l'inégalité suivante :

$$P_s < P_{\text{design}} - \varphi * g * l.$$

[0066] De manière avantageuse, afin de ne pas sous-dimensionner la pression seuil P_s , celle-ci répond également à l'inégalité suivante :

$$P_s > P_{\text{design}} - \varphi * g * l - k ;$$

avec k compris entre 50 et 20 000 Pa, avantageusement compris entre 100 et 1000 Pa préférentiellement de l'ordre de 100 Pa.

[0067] En relation avec la figure 4, on décrit ci-dessous un autre mode de réalisation de l'invention. Dans ce mode de réalisation, la cuve 1 comporte au moins deux tuyaux 22, 26 qui sont chacun destinés à conduire du gaz liquéfié en phase vapeur d'une zone du ciel gazeux vers l'espace intérieur 18 de la conduite collectrice 2.

[0068] Le deuxième tuyau 26 comporte :

- une première extrémité 27 qui est située dans l'espace interne 3 de la cuve 1, à l'extérieur de la conduite collectrice 2 et débouche à une hauteur h_1 qui est supérieure à la hauteur h et supérieure à h_{max} ;
- une deuxième extrémité 28 qui débouche dans l'espace intérieur 18 de la conduite collectrice 2 à une hauteur h_2 qui est supérieure à h et à h_{max} ; et
- un tronçon détourné 29 qui passe en dessous de l'extrémité inférieure 15 de la conduite

collectrice 2 afin de relier la première extrémité 27 et la deuxième extrémité 28 du deuxième tuyau 26.

[0069] Les premières extrémités 23, 27 des tuyaux 22, 26 débouchent à l'intérieur de la cuve 1 dans deux zones de l'espace interne 3 de la cuve 1 qui sont situées de part et d'autre d'un plan longitudinal médian P qui est vertical, parallèle à la direction longitudinale du navire et passe par le centre de gravité du navire. De manière avantageuse, les deux zones de l'espace interne 3 de la cuve 1 sont situées à proximité de deux extrémités de la paroi supérieure 10, opposées l'une à l'autre selon une direction transversale perpendiculaire à la direction longitudinale du navire. Ainsi, si le navire se trouve immobilisé dans une position inclinée dans laquelle il présente une inclinaison de gîte, au moins l'un des deux tuyau 22, 26 débouche au niveau du point le plus élevé de la cuve 1 et est ainsi apte à évacuer la phase vapeur du fluide cryogénique stocké dans la cuve 1.

[0070] Par ailleurs, de manière avantageuse, les premières extrémités 23, 27 des deux tuyaux 22, 26 se situent à proximité du plan transversal médian qui est orthogonal à la direction longitudinale du navire, c'est-à-dire qu'elles se situent à une distance de l'une des parois transversales 14 de la cuve 1 comprise entre 30 et 70 % de la dimension de la cuve 1 selon la direction longitudinale du navire. Ceci permet de limiter les risques que les premières extrémités 23, 27 des tuyaux 22, 26 se trouvent immergées dans la phase liquide du gaz liquéfié lorsque le navire est immobilisé dans une position inclinée dans laquelle il présente une inclinaison d'assiette.

[0071] En relation avec les figures 5 et 6, on illustre une zone d'ancrage d'un tuyau 22 sur la paroi supérieure 10 selon deux modes de réalisation. Dans ces deux modes de réalisation, afin de limiter les sollicitations de la membrane primaire étanche 8 qui seraient dues à l'ancrage du ou des tuyaux 22, ceux-ci sont ancrés sur des platines d'ancrage métalliques 30, 31, 32 qui sont directement fixées sur les panneaux isolants de la barrière thermiquement isolante primaire 7 et sur lesquels sont soudés de manière étanche des tôles 33, 34, 35, 36, 37 de la membrane primaire étanche 8.

[0072] La figure 5 illustre, en traits pointillés, la position de platines d'ancrage métalliques 30, 31 qui sont fixées sur les panneaux isolants de la barrière thermiquement isolante primaire 7. Les platines d'ancrage métalliques 30 sont disposées selon deux directions orthogonales l'une à l'autre. Les tôles métalliques 33, 34, 35, 36 de la membrane primaire étanche 8 sont soudées les unes aux autres à recouvrement le long des platines d'ancrage métalliques 30. En outre, le bord des tôles métalliques 33, 34, 35, 36 qui est recouvert par le bord d'une tôle métallique adjacente est fixé par soudage sur l'une des platines d'ancrage métalliques 30. Les zones d'angles des tôles métalliques 33, 34, 35, 36 sont

découpées de sorte qu'à l'intersection entre quatre tôles métalliques adjacentes 33, 34, 35, 36, une zone de l'une des platines d'ancrage métalliques 30 n'est recouverte par aucune des quatre tôles métalliques 33, 34, 35, 36 adjacentes. De manière avantageuse, cette zone non recouverte forme une zone d'ancrage 38 pour un tuyau 22.

[0073] Sur la figure 6, une platine d'ancrage métallique 32, représentée en traits pointillés, est recouverte par une tôle métallique 37 de la membrane primaire étanche 8. La tôle métallique 37 comporte un orifice 39. La tôle métallique 37 est soudée de manière étanche, à la platine d'ancrage métallique 32, tout autour dudit orifice. La zone de la platine d'ancrage métallique 32 qui est disposée en regard de l'orifice 39 de la tôle métallique 37 peut ainsi constituer une zone d'ancrage 40 pour un tuyau 22. Selon un mode de réalisation alternatif, la zone d'ancrage 40 du tuyau peut être ménagée sur une tôle métallique 37 pour autant que cette zone d'ancrage soit au droit de l'ancrage de la tôle métallique 37 sur la platine d'ancrage métallique 32.

[0074] La figure 7 illustre des moyens d'ancrage du tuyau 22 à la paroi supérieure 10 selon un mode de réalisation. Dans ce mode de réalisation, les moyens d'ancrage comportent un collier 41 dans lequel passe le tuyau 22. Le collier 41 est fixé à une zone d'ancrage, telle que décrite ci-dessus en relation avec les figures 5 et 6. Selon un mode de réalisation, le tuyau 22 est monté coulissant à l'intérieur du collier 41 de manière à permettre au tuyau 22 de se contracter ou se dilater librement sous l'effet des différences de température.

[0075] Selon un autre mode de réalisation, non représenté, le tuyau 22 comporte un ou plusieurs dispositifs de compensation permettant de lui apporter de la flexibilité selon la direction longitudinale de manière à autoriser sa contraction et sa dilatation. Le dispositif de compensation peut notamment être réalisé par des soufflets ou par une lyre de compensation.

[0076] En référence à la figure 8, une vue écorchée d'un navire méthanier 170 montre une cuve étanche et isolée 171 de forme générale prismatique montée dans la double coque 172 du navire. La paroi de la cuve 171 comporte une membrane primaire destinée à être en contact avec le GNL contenu dans la cuve, une membrane secondaire agencée entre la membrane primaire et la double coque 172 du navire, et deux barrières thermiquement isolantes agencées respectivement entre la membrane primaire et la membrane secondaire et entre la membrane secondaire et la double coque 172.

[0077] De manière connue en soi, des canalisations de chargement/déchargement 173 disposées sur le pont supérieur du navire peuvent être raccordées, au moyen de connecteurs appropriés, à un terminal maritime ou portuaire pour transférer une cargaison de GNL depuis ou vers la cuve 171.

[0078] La figure 8 représente également un exemple de terminal maritime comportant un poste de chargement et de déchargement 175, une conduite sous-marine 176 et une installation à terre 177. Le poste de chargement et de déchargement 175 est une installation fixe off-shore comportant un bras mobile 174 et une tour 178 qui supporte le bras mobile 174. Le bras mobile 174 porte un faisceau de tuyaux flexibles isolés 179 pouvant se connecter aux canalisations de chargement/déchargement 173. Le bras mobile 174 orientable s'adapte à tous les gabarits de méthaniers. Une conduite de liaison non représentée s'étend à l'intérieur de la tour 178. Le poste de chargement et de déchargement 175 permet le chargement et le déchargement du méthanier 170 depuis ou vers l'installation à terre 177. Celle-ci comporte des cuves de stockage de gaz liquéfié 180 et des conduites de liaison 181 reliées par la conduite sous-marine 176 au poste de chargement ou de déchargement 175. La conduite sous-marine 176 permet le transfert du gaz liquéfié entre le poste de chargement ou de déchargement 175 et l'installation à terre 177 sur une grande distance, par exemple 5 km, ce qui permet de garder le navire méthanier 170 à grande distance de la côte pendant les opérations de chargement et de déchargement.

[0079] Pour engendrer la pression nécessaire au transfert du gaz liquéfié, on met en œuvre des pompes embarquées dans le navire 170 et/ou des pompes équipant l'installation à terre 177 et/ou des pompes équipant le poste de chargement et de déchargement 175.

[0080] 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 revendiquée.

[0081] 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.

[0082] Dans les revendications, tout signe de référence entre parenthèses ne saurait être interprété comme une limitation de la revendication.

[0083] Dans les revendications, tout signe de référence entre parenthèses ne saurait être interprété comme une limitation de la revendication.