

Paroi étanche à membrane ondulée renforcée

Domaine technique

L'invention se rapporte au domaine des cuves étanches à membranes
5 métalliques ondulées, pour le stockage et/ou le transport d'un fluide, et en particulier
aux cuves étanches et thermiquement isolantes pour gaz liquéfié.

En particulier, l'invention se rapporte au domaine des cuves étanches et
thermiquement isolantes pour le stockage et/ou le transport de liquide à basse
température, telles que des cuves pour le transport de Gaz de Pétrole Liquéfié (aussi
10 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
15 l'ouvrage flottant.

Arrière-plan technologique

On a décrit dans FR-A-2936784 une cuve à membrane d'étanchéité ondulée,
renforcée à l'aide de renforts d'onde disposés sous les ondulations, entre la
membrane d'étanchéité et le support de cette membrane d'étanchéité, pour diminuer
20 les contraintes dans la membrane d'étanchéité causées par une multitude de
facteurs, dont la rétraction thermique lors de la mise à froid de la cuve, l'effet de flexion
de la poutre du navire, et la pression dynamique due au mouvement de la cargaison,
notamment en raison de la houle.

Dans une telle cuve, la membrane d'étanchéité présente deux séries
25 d'ondulations perpendiculaires. Ainsi, la membrane étanche présente une pluralité de
nœuds correspondant aux intersections entre les ondulations des séries
d'ondulations.

Dans un mode de réalisation, ces pièces de renfort, aussi appelées renforts
d'onde, sont creuses et permettent à du gaz de circuler entre les ondulations et le
30 support en traversant les pièces de renfort, notamment pour inerte la barrière isolante

ou détecter des fuites. Ces pièces de renforts sont agencées sous les ondulations entre deux nœuds successifs et sont donc interrompues au niveau desdits nœuds.

Résumé

Cependant, la demanderesse a constaté que les contraintes dans la
5 membrane d'étanchéité ne sont pas nécessairement uniformes dans la cuve. Ainsi, une même ondulation peut subir des contraintes dissymétriques pouvant engendrer des déformations de la membrane pour lesquelles les pièces de renfort ne remplissent pas une fonction de renfort de la membrane de manière adéquate. En particulier, la demanderesse a constaté que les pièces de renfort sont sujettes à des
10 déplacements conjoints avec la portion d'ondulation dans laquelle elles sont logées lorsque ladite ondulation est sujette à des contraintes dissymétriques. Ce déplacement conjoint de la pièce de renfort et de l'ondulation peut générer une torsion de la membrane au niveau du nœud.

Une idée à la base de l'invention est de fournir une paroi étanche à
15 membrane d'étanchéité ondulée et renforcée de façon continue le long de l'ondulation. Une idée à la base de l'invention est d'assurer une continuité des renforts d'onde agencés dans une ondulation. Une idée à la base de l'invention est d'assurer un alignement des renforts d'onde agencés sous une ondulation pour limiter les risques de torsion de la membrane au niveau du nœud. Ainsi, une idée à la base de
20 l'invention est de conserver un alignement des renforts d'ondes agencés sous les portions successives d'une ondulation correspondant à une direction longitudinale de ladite ondulation. En particulier, une idée à la base de l'invention est de conserver les renforts d'ondes agencés sous une ondulation de part et d'autre d'un nœud alignés dans la direction longitudinale de ladite ondulation.

25 Selon un mode de réalisation, l'invention fournit une paroi de cuve étanche comportant une membrane étanche ondulée, la membrane étanche ondulée comportant une première série d'ondulations parallèles et une deuxième série d'ondulations parallèles et des portions planes situées entre les ondulations et destinées à reposer sur une surface de support, lesdites première et deuxième séries
30 d'ondulations s'étendant selon des directions sécantes et formant une pluralité de nœuds aux croisements desdites ondulations, des renforts d'onde étant agencés sous les ondulations de la première série

- d'ondulations,
deux renforts d'onde successifs dans une ondulation comportant chacun une semelle destinée à reposer sur la surface de support et une portion de renfort disposée au-dessus de la semelle dans une direction d'épaisseur de la paroi de cuve, les deux
- 5 renforts d'onde se développant longitudinalement dans l'ondulation de part et d'autre d'un nœud,
lesdites semelles étant creuses, un organe de liaison s'étendant dans l'ondulation au niveau du nœud et étant emboîté dans les semelles desdits deux renforts d'onde de manière à assembler les deux renforts d'onde dans une position alignée.
- 10 Grâce à ces caractéristiques, une continuité est assurée entre deux renforts d'onde successifs agencés dans une ondulation de part et d'autre d'un nœud. Grâce à ces caractéristiques, le déplacement relatif entre deux renforts d'onde successifs agencés dans l'ondulation est limité y compris en présence de contraintes dissymétriques de part et d'autre du nœud et/ou de part et d'autre d'une ondulation.
- 15 En particulier, deux renforts d'ondes successifs agencés sous l'ondulation sont maintenus alignés dans la direction longitudinale de l'ondulation. Ainsi, une portion de l'ondulation située d'un côté du nœud est supportée de façon efficace par le renfort d'onde agencé sous ladite portion d'ondulation, ledit renfort d'onde étant maintenu en position par coopération avec le renfort d'onde adjacent via l'organe de liaison.
- 20 Selon des modes de réalisation, une telle paroi peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes.
- Selon un mode de réalisation, la semelle d'un ou de chacun desdits renforts d'onde présente une portion saillante respective faisant saillie longitudinalement de la portion de renfort dudit renfort d'onde en direction de l'autre renfort d'onde de
- 25 manière à être engagée dans le nœud.
- En outre, de tels renforts d'onde sont simples à fabriquer, la portion saillante de la semelle pouvant par exemple être fabriquée, à partir d'une pièce de renfort extrudée, en supprimant simplement la portion de renfort du renfort d'onde au niveau de ladite portion saillante.
- 30 Selon un mode de réalisation, une extrémité de l'organe de liaison présente une section de forme et de dimension identique à la forme et aux dimensions de la

section creuse de la semelle dans laquelle ladite extrémité est logée, pour réaliser un emboîtement sans jeu significatif. En d'autres termes, l'organe de liaison est emboîté et guidé longitudinalement dans les semelles avec un simple jeu de montage de manière à ce que la position des deux renforts d'onde soit alignée sans jeu angulaire
5 significatif.

De préférence, le renfort d'onde est monté de façon glissante par rapport à la surface de support et ladite ondulation. Ainsi, une contraction thermique du renfort d'onde peut se produire sans formation de contraintes locales. Par ailleurs, l'emboîtement longitudinal de l'organe de liaison dans la semelle du renfort d'onde
10 permet aussi une contraction thermique du renfort d'onde et de l'organe de liaison sans produire de contraintes locales.

Selon un mode de réalisation, au moins un desdits renforts d'onde est associé à une entretoise rapportée engagée dans ledit nœud, une face d'extrémité de l'entretoise rapportée opposée au nœud formant une surface de butée pour une
15 face d'extrémité du renfort d'onde en regard du nœud, ladite entretoise rapportée comportant un passage prolongeant la section creuse de la semelle du renfort d'onde en direction de l'autre renfort d'onde et traversé par l'organe de liaison.

Selon un mode de réalisation, l'entretoise rapportée est fixée sur l'organe de liaison.

20 La semelle du renfort d'onde forme une partie basse du renfort d'onde et la portion de renfort forme une partie haute du renfort d'onde. La semelle et la portion de renfort peuvent être séparées par une paroi interne, plane ou non plane. Elles peuvent aussi ne pas être séparées. Selon un mode de réalisation, la semelle d'un dit renfort d'onde inclut une paroi inférieure destinée à reposer sur la surface de
25 support. Selon un mode de réalisation, la semelle d'un dit renfort d'onde comporte en outre une paroi supérieure parallèle à la paroi inférieure destinée à reposer sur la surface de support, la portion de renfort dudit renfort d'onde s'étendant au-dessus de la paroi supérieure de la semelle.

Selon un mode de réalisation, la semelle est ouverte sur la portion de renfort.
30 Autrement dit, un logement interne creux de la semelle dans lequel est emboîté l'extrémité de l'organe de liaison est ouvert sur la portion de renfort.

Selon un mode de réalisation, le renfort d'onde présente une surface interne se développant parallèlement à la paroi inférieure de la semelle et délimitant le logement creux de la semelle.

Cette surface interne peut être réalisée de nombreuses manières.

- 5 Selon un mode de réalisation, cette surface interne est formée par une face de la paroi interne séparant la portion de renfort de la semelle.

 Selon un mode de réalisation, cette surface interne est formée par une surface d'extrémité d'une nervure interne de la portion de renfort. Selon un mode de réalisation, cette nervure interne se développe dans un plan parallèle à la direction
10 d'épaisseur de la paroi de cuve depuis un voile interne de la portion de renfort, par exemple depuis une zone d'intersection entre deux voiles internes logés dans la portion de renfort.

 Selon un mode de réalisation, cette surface interne est formée par une ou des portions latérales d'une paroi supérieure de semelle, lesdites portions latérales
15 se développant parallèlement à la paroi inférieure depuis des parois latérales du renfort d'onde.

 Selon un mode de réalisation, une extrémité de l'organe de liaison emboîtée dans ladite semelle présente une section plane, par exemple rectangulaire ou trapézoïdale, s'étendant parallèlement à ladite paroi inférieure. Grâce à ces
20 caractéristiques, le moment d'inertie de l'organe de liaison autour d'un axe de flexion parallèle à la direction d'épaisseur de la paroi de cuve est relativement élevé.

 De préférence dans ce cas, une extrémité de l'organe de liaison emboîtée dans la semelle présente une largeur, prise selon une direction de largeur perpendiculaire à la direction d'épaisseur de la paroi de cuve et perpendiculaire à la
25 direction longitudinale de l'ondulation, supérieure à l'épaisseur de ladite extrémité de l'organe de liaison, prise selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve.

 Selon un mode de réalisation, la largeur de l'extrémité de l'organe de liaison emboîtée dans la semelle est supérieure à la moitié de la largeur du renfort d'onde selon ladite direction de largeur. Une telle largeur de l'extrémité de l'organe de liaison

permet une bonne rigidité en réponse aux contraintes latérales, c'est-à-dire selon ladite direction de largeur.

Selon un mode de réalisation, la portion creuse de la semelle présente une section plane parallèle à la surface de support lorsque la paroi inférieure de ladite
5 semelle repose sur ladite surface de support. Autrement dit, la portion creuse de la semelle présente une largeur prise selon une direction perpendiculaire la direction longitudinale de l'ondulation et perpendiculaire à la direction d'épaisseur de la paroi de cuve supérieure à l'épaisseur de ladite portion creuse prise selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve.

10 Selon un mode de réalisation, l'extrémité de l'organe de liaison 13 est emboîtée dans la semelle sur une distance de 2 à 3 cm, ou encore, de préférence, sur une distance supérieure à 5cm, notamment de 5 à 8 cm. Une telle distance d'insertion assure une zone de coopération importante entre l'organe de liaison et le renfort d'onde permettant et assurant ainsi un maintien stable de l'alignement entre
15 les renforts d'ondes et une bonne répartition des contraintes latérales sur une zone de coopération étendue.

Selon un mode de réalisation, ledit organe de liaison est une pièce plane qui présente une épaisseur uniforme.

L'organe de liaison sous la forme d'une pièce plane, c'est-à-dire mince,
20 présente un faible encombrement dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve et peut ainsi passer sous la membrane étanche au niveau du nœud sans interférer avec les ondulations de la membrane étanche.

Selon un mode de réalisation, les semelles présentent deux parois internes se développant selon la direction d'épaisseur, lesdites parois internes délimitant avec
25 la paroi inférieure, et la paroi supérieure le cas échéant, la portion creuse de la semelle. Selon un mode de réalisation, la portion creuse de la semelle présente une section de forme rectangulaire.

Selon un mode de réalisation, le nœud comporte un sommet, ladite ondulation comportant de part et d'autre du sommet une portion concave formant un
30 rétrécissement de l'ondulation, ladite portion saillante et/ou l'entretoise rapportée

s'étendant dans le nœud jusqu'au rétrécissement de l'ondulation situé du côté correspondant du sommet ou au-delà dudit rétrécissement de l'ondulation.

Ledit rétrécissement définit par exemple une section minimale de l'ondulation dans le nœud.

- 5 Selon un mode de réalisation, l'organe de liaison comporte une surface de butée agencée pour limiter l'insertion de l'organe de liaison dans une dite semelle.

Selon un mode de réalisation, la surface de butée est une première surface de butée agencée pour limiter l'insertion de l'organe de liaison dans l'une des semelles et l'organe de liaison comporte une deuxième surface de butée agencée
10 pour limiter l'insertion de l'organe de liaison dans l'autre semelle.

De telles surfaces de butée peuvent être réalisées de nombreuses manières. Selon un mode de réalisation, l'organe de liaison comporte une surépaisseur et/ou une sur-largeur, l'organe de liaison présentant au niveau de ladite surépaisseur et/ou sur-largeur une section dont les dimensions sont supérieures aux dimensions de la
15 portion creuse de la ou des semelles, ladite surépaisseur et/ou une sur-largeur portant la ou les surfaces de butées. Selon un mode de réalisation, l'organe de liaison présente une portion centrale présentant une section uniforme selon la direction longitudinale de l'ondulation, la ou les surfaces de butées étant formées par une pièce rapportée fixée sur ladite portion centrale. Cette pièce rapportée peut être réalisée de
20 nombreuses manières, comme par exemple au moyen d'une vis, d'un rivet, d'un clou fixé, de préférence de façon non traversante, sur la portion centrale de l'organe de liaison. Cette pièce rapportée peut également être une pièce métallique fixée sur la portion centrale de l'organe de liaison. Une telle pièce métallique pouvant servir de butée aux premiers renforts d'ondes est par exemple une pièce de liaison portant
25 des pattes de liaisons destinées à coopérer avec les deuxième renforts d'ondes logés dans les deuxième onduations

Selon un mode de réalisation, l'organe de liaison est monté de façon glissante par rapport à la surface de support, par exemple une barrière d'isolation thermique. Autrement dit, l'organe de liaison n'est pas fixé sur la barrière d'isolation
30 thermique. Ainsi, lorsque ni les renforts d'ondes, ni les organes de liaison ne sont fixés à la surface de support, les renforts d'ondes et les organes de liaison peuvent

être maintenus en position entre la membrane étanche et la surface de support en raison des emboitements entre les renforts d'ondes et les organes de liaison et en raison de la fixation de la membrane étanche à la surface de support, par exemple par soudage.

- 5 Selon un mode de réalisation, les renforts d'onde agencés sous les ondulations de la première série d'ondulations sont des premiers renforts d'onde, la cuve comportant en outre des deuxièmes renforts d'onde agencés sous des ondulations de la deuxième série d'ondulations, deux deuxièmes renforts d'onde étant disposés dans l'ondulation de la deuxième série d'ondulation formant le nœud
- 10 de part et d'autre dudit nœud.

Selon un mode de réalisation, un deuxième renfort d'onde s'étend entre deux nœuds successifs d'une ondulation.

- Selon un mode de réalisation, la distance entre les extrémités des semelles et/ou entre les extrémités des entretoises rapportées des deux premiers renforts
- 15 d'onde est plus grande qu'une largeur des deuxièmes renforts d'onde agencés dans l'ondulation de la deuxième série d'ondulation formant le nœud, l'organe de liaison comportant une portion centrale intercalée entre les semelles desdits deux premiers renforts d'onde.

- Selon un mode de réalisation, les deuxièmes renforts adjacents au nœud
- 20 présentent une extrémité logée dans le nœud au contact de l'organe de liaison. Grâce à ces caractéristiques, l'organe de liaison exerce une fonction de butée limitant ainsi le déplacement des deuxièmes renforts d'onde selon la direction longitudinale des deuxièmes ondulations.

- Selon un mode de réalisation, les deuxièmes renforts d'onde sont creux,
- 25 l'organe de liaison comportant une portion centrale intercalée entre les semelles des premiers renforts d'onde, l'organe de liaison comportant en outre deux pattes, chacune desdites deux pattes faisant saillie depuis la portion centrale de l'organe de liaison et selon une direction longitudinale de la deuxième série d'ondulation et pénétrant dans un deuxième renfort d'onde respectif.

Selon un mode de réalisation, les pattes sont des pattes élastiques agencées pour exercer une force dans une direction opposée à la membrane étanche pour appuyer lesdits deuxièmes renforts d'onde sur la surface de support.

5 Selon un mode de réalisation, les deux pattes sont emboîtées dans les deuxièmes renforts d'onde de manière à assembler lesdits deux deuxièmes renforts d'onde à l'organe de liaison. Par exemple dans ce cas, l'organe de liaison présente une forme de croix dont lesdites pattes et lesdites extrémités de l'organe de liaison forment quatre branches. L'organe de liaison plane en forme de croix peut être réalisé sous la forme d'une pièce plane.

10 Selon un mode de réalisation, l'organe de liaison comporte une pièce plane en forme de croix, lesdites pattes et lesdites extrémités de l'organe de liaison formant quatre branches de la croix.

Selon un mode de réalisation, les pattes et la portion centrale sont monobloc.

15 Selon un mode de réalisation, une extrémité d'une dite patte distante de la portion centrale comporte un organe de retenue agencé pour maintenir en position le deuxième renfort d'onde.

20 Un tel organe de retenue peut être réalisé de nombreuses manières. Selon un mode de réalisation, les deuxièmes renforts d'onde comportent un ergot de montage dans leur portion creuse, l'extrémité des pattes étant configurée pour coopérer avec cet ergot afin de maintenir les deuxièmes renforts. Selon un mode de réalisation, les deuxièmes renforts d'onde comportent des voiles internes, l'extrémité des pattes étant configurée pour être fixée, par exemple par clipsage, sur une tranche desdits voiles interne en vis-à-vis du nœud.

25 Selon un mode de réalisation, l'organe de liaison comporte en outre une plaque de maintien fixée sur la portion centrale de l'organe de liaison, la plaque portant les pattes.

Selon un mode de réalisation, l'organe de liaison comporte un organe de fixation de la plaque, ledit organe de fixation étant fixé dans la base à distance de de la barrière thermiquement isolante.

Selon un mode de réalisation, lesdits deuxièmes renforts d'onde respectifs comportent chacun une semelle creuse destinée à reposer sur la surface de support et une portion de renfort disposée au-dessus de la semelle dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve. Dans ce cas, les deux pattes de l'organe de liaison
5 peuvent être emboîtées longitudinalement dans lesdites semelles. Il en résulte un dispositif d'assemblage relativement peu encombrant dans la direction d'épaisseur de la paroi.

Selon un mode de réalisation, la portion de renfort du renfort d'onde dont la semelle présente ladite portion saillante présente une extrémité biseautée en
10 direction du nœud.

Selon un mode de réalisation, la portion de renfort des renforts d'onde présente une paroi externe, par exemple de forme externe convexe semi-elliptique, délimitant un espace interne de la portion de renfort, la portion de renfort comportant en outre des voiles internes de renforcement.

15 Selon un mode de réalisation, de tels voiles internes se développent entre une portion latérale de paroi supérieure de semelle respective et une face interne de la paroi externe de la portion de renfort.

Selon un mode de réalisation, la portion de renfort des renforts d'onde présente une paroi externe, une extrémité de ladite paroi externe en regard du nœud
20 formant une tranche de ladite paroi externe, ladite tranche étant biseautée de manière à présenter une face inclinée par rapport à un plan perpendiculaire à la direction longitudinale de l'ondulation et tournée vers l'ondulation.

Selon un mode de réalisation, la membrane étanche ondulée comporte une pièce de tôle rectangulaire ondulée, ladite première série d'ondulations s'étendant
25 selon une direction de longueur de la pièce de tôle, ladite deuxième série d'ondulations s'étendant selon une direction de largeur de la pièce de tôle, et les renforts d'ondes agencés sous une ondulation de la première série d'ondulations comportent une rangée de renforts d'onde alignés, ladite rangée de renforts d'onde se développant sur toute la longueur de la pièce de tôle rectangulaire,
30 lesdits renforts d'onde comportant chacun une semelle creuse et une portion de

renfort et étant assemblés deux à deux par une pluralité d'organes de liaison emboîtés dans les semelles des renforts d'onde successifs au niveau des nœuds.

Selon un mode de réalisation, la membrane étanche ondulée comporte une pièce de tôle rectangulaire ondulée, ladite première série d'ondulations s'étendant
5 selon une direction de longueur de la pièce de tôle, ladite deuxième série d'ondulations s'étendant selon une direction de largeur de la pièce de tôle, et les renforts d'ondes agencés sous une ondulation de la première série d'ondulations comportent une rangée de renforts d'onde alignés, ladite rangée de renforts d'onde se développant sur sensiblement toute la longueur de la pièce de tôle
10 rectangulaire, lesdits renforts d'onde comportant chacun une semelle creuse incluant une paroi inférieure destinée à reposer sur la surface de support et une portion de renfort disposée au-dessus de la semelle, et étant assemblés deux à deux par une pluralité d'organes de liaison emboîtés dans les semelles des renforts d'onde successifs au niveau des nœuds de ladite ondulation.

15 Selon un mode de réalisation, les deux extrémités de la rangée de renforts d'onde sont fixées aux bords de la pièce de tôle rectangulaire délimitant l'ondulation, par exemple par clipsage. Ainsi, il est possible de manutentionner la pièce de tôle avec une ou plusieurs rangées de renforts d'onde préassemblées de cette manière à celle-ci, ce qui facilite le montage d'une paroi de cuve.

20 Selon un mode de réalisation, une pluralité de rangées de renforts d'onde constituées de la même manière sont agencées dans des ondulations respectives de la première série d'ondulations sur toute la longueur de la pièce de tôle rectangulaire, par exemple dans chacune des ondulations ou seulement dans certaines d'entre elles, et peuvent être fixées à la pièce de tôle rectangulaire de la même manière.

25 Selon un mode de réalisation, des rangées de renforts d'onde sont agencées dans les ondulations de la deuxième série d'ondulations. Ces renforts d'onde peuvent être fixés de différentes manières, par exemple par coopération avec les organes de liaison. Selon un mode de réalisation, les renforts d'onde de agencées dans les ondulations de la deuxième série d'ondulations sont fixées à la pièce de tôle ondulée,
30 par exemple au moyen de scotch® double face ou par collage.

Selon un mode de réalisation, une pluralité de rangées de renforts d'onde sont agencées dans les ondulations respectives de la première série d'ondulations sur sensiblement toute la longueur de la pièce de tôle rectangulaire et des rangées de deuxièmes renforts d'onde sont agencées dans les ondulations de la deuxième
5 série d'ondulations, les deuxièmes renforts d'onde étant assemblés aux premiers renforts d'ondes par coopération avec les organes de liaison en forme de croix au niveau des nœuds pour former une ossature de la pièce de tôle rectangulaire ondulée.

Une telle ossature peut être pré-assemblée sur la surface externe de la pièce de tôle
10 rectangulaire et fixée à celle-ci comme indiqué ci-dessus. Une telle ossature peut aussi être pré-assemblée indépendamment de la pièce de tôle rectangulaire destinée à l'accueillir, par exemple au moyen d'un cadre de montage. Le préassemblage d'une telle ossature facilite le montage de la paroi de cuve en limitant les opérations de manutention.

15 Selon un mode de réalisation, la membrane étanche comporte une deuxième pièce de tôle rectangulaire ondulée juxtaposée à la première pièce de tôle rectangulaire ondulée dans la direction de longueur et soudée à celle-ci de manière étanche,

la deuxième pièce de tôle rectangulaire ondulée étant munie d'une deuxième
20 ossature formée de premiers et deuxièmes renforts d'onde agencés dans les ondulations de la deuxième pièce de tôle rectangulaire ondulée et assemblés par une pluralité d'organes de liaison emboîtés dans lesdits renforts d'onde au niveau des nœuds de la deuxième pièce de tôle rectangulaire ondulée.

Un premier renfort d'extrémité formant l'extrémité d'une rangée de premiers renforts
25 d'onde de la première ossature peut être associé à un deuxième renfort d'extrémité formant l'extrémité d'une rangée de premiers renforts d'onde de la deuxième ossature par un manchon de liaison, le premier et le deuxième renforts d'extrémité présentant chacun un logement longitudinal débouchant sur une surface inférieure du renforts d'extrémité, le manchon de liaison étant emboîté dans le logement longitudinal du
30 premier et du deuxième renforts d'extrémité de manière à aligner la rangée de renforts d'ondes de la première ossature et la rangée de renforts d'ondes de la deuxième ossature.

Selon un mode de réalisation, l'invention fournit également un ensemble formant une ossature préassemblée pour membrane, ladite ossature comportant des renforts d'ondes destinés à être logés sous des ondulations d'une membrane d'étanchéité ondulée comportant deux séries d'ondulations sécantes, un dit renfort

5 d'onde comportant une surface inférieure plane destinée à reposer sur une surface de support et un logement interne adjacent à la paroi inférieure,

ladite ossature comportant une pluralité de rangées de premiers renforts d'ondes alignés, chaque rangée destinée à être logée sous une ondulation de la première série d'ondulations de la membrane d'étanchéité,

10 ladite ossature comportant une pluralité de rangées de deuxièmes renforts d'ondes alignés, chaque rangée destinée à être logée sous une ondulation de la deuxième série d'ondulations de la membrane d'étanchéité,

ladite ossature comportant en outre une pluralité d'organes de liaison en forme de croix présentant des pattes logées dans les logements des premiers et deuxièmes

15 renforts d'ondes au niveau des intersections des rangées de premiers renforts d'ondes et des rangées de deuxième renforts d'onde,

ledit ensemble comportant en outre un cadre de montage agencé autour des extrémités des rangées de renforts d'ondes et présentant des attaches coopérant avec des renforts d'extrémité agencés aux extrémités des rangées de premiers

20 renforts d'ondes et des rangées de deuxième renforts d'ondes de manière à maintenir l'ensemble dans un état assemblé.

Dans un telle ossature préassemblée, les renforts d'ondes sont assemblés par les organes de liaison en forme de croix et par le cadre de montage sous la forme d'un treillis de renforts d'ondes.

25 Selon un mode de réalisation, les premiers renforts d'ondes d'extrémité et les deuxièmes renforts d'onde d'extrémité présentent un logement ouvert débouchant sur la surface inférieure desdits premiers et deuxièmes renforts d'ondes d'extrémité.

Selon un mode de réalisation, le cadre de montage est remplacé par une plaque métallique ondulée destinée à former une portion de la membrane

30 d'étanchéité et les attaches sont agencées sur les bords de la plaque métallique.

Selon un mode de réalisation, l'invention fournit également un procédé de montage de paroi de cuve étanche comportant les étapes de :

- 5 - Positionner sur une surface de support de cuve étanche, de préférence pour chaque première ondulation d'une pièce de tôle rectangulaire ondulée de membrane d'étanchéité, une rangée de premiers renforts d'ondes, ladite rangée étant formée en emboitant alternativement des organes de liaison et des premiers renforts d'ondes, notamment l'organe de liaison et les premiers renforts d'ondes précités
- 10 - Maintenir les extrémités de ladite rangée de premiers renforts d'ondes en position sur la surface de support,
- Positionner sur la surface de support, de préférence pour chaque deuxième ondulation de la pièce de tôle rectangulaire ondulée, des deuxièmes renforts d'ondes,
- 15 - fixer sur la surface de support la pièce de tôle rectangulaire ondulée de sorte que la rangée de premiers renforts d'ondes soit logée dans une première ondulation correspondante de ladite pièce de tôle rectangulaire ondulée et que les deuxièmes renforts d'ondes soient logés dans une deuxième ondulation correspondante de la pièce de tôle rectangulaire ondulée,
- 20 Selon un mode de réalisation, l'étape de maintien des extrémités de la rangée de premiers renforts d'ondes comporte les étapes de
 - positionner un organe de liaison dans un premier renfort d'ondes faisant saillie depuis une pièce de tôle rectangulaire ondulée préalablement fixée sur la surface de support,
 - 25 - emboiter dans ledit organe de liaison un premier renfort d'onde d'extrémité de la rangée de premiers renforts d'ondes.

Selon un mode de réalisation, l'étape de maintien des extrémités de la rangée de premiers renforts d'ondes comporte l'étape de fixer sur la surface de support un rail de fixation, ledit rail de fixation coopérant avec un premier renfort d'onde d'extrémité de la rangée de premiers renforts d'ondes pour maintenir

30

l'extrémité correspondante de la rangée de premiers renforts d'ondes sur la surface de support.

Selon un mode de réalisation, le procédé comporte en outre une étape de retirer le rail de fixation de la surface de support.

- 5 Selon un mode de réalisation, le rail de fixation coopère avec l'extrémité d'une pluralité de rangées de premiers renforts d'ondes adjacents positionnés sur la surface de support afin de stabiliser la position desdites rangées de premiers renforts d'ondes.

- Selon un mode de réalisation, l'étape de positionner des deuxièmes renforts
10 d'ondes comporte l'étape d'emboîter lesdits deuxièmes renforts d'ondes dans des organes de liaisons adjacents de deux rangées de premiers renforts d'ondes adjacents.

- Selon un mode de réalisation, l'étape d'ancrer la pièce de tôle rectangulaire ondulée sur la surface de support comporte l'étape de souder ladite pièce de tôle
15 rectangulaire ondulée sur une pièce de tôle rectangulaire ondulée préalablement ancrée sur la barrière thermiquement isolante.

- Selon un mode de réalisation, l'invention fournit également un renfort d'onde destiné à être logé sous une ondulation d'une membrane d'étanchéité ondulée, ledit renfort d'onde comportant une semelle creuse et une portion de renfort creuse
20 disposée au-dessus de ladite semelle, la semelle comportant une paroi inférieure plane destinée à reposer sur une surface de support et une paroi supérieure séparant la semelle de la portion de renfort et parallèle à ladite paroi inférieure, la paroi inférieure et la paroi supérieure étant reliées par des parois latérales de la semelle, la portion de renfort comportant une paroi externe s'étendant au-dessus de la
25 semelle, ladite paroi externe délimitant avec la paroi supérieure de la semelle un espace interne de la portion de renfort.

Selon des modes de réalisation, un tel renfort d'onde peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes.

- Selon un mode de réalisation, le renfort d'onde comporte en outre un voile
30 interne agencé dans l'espace interne de la portion de renfort. Selon un mode de réalisation, ce voile interne présente une forme circulaire tronquée par la paroi

supérieure de la semelle, ledit voile interne étant tangent à la paroi externe de part et d'autre d'un sommet de ladite paroi externe.

Selon un mode de réalisation, la semelle présente une portion saillante faisant saillie longitudinalement par rapport à la portion de renfort au niveau d'au
5 moins une extrémité longitudinale du renfort d'onde.

Selon un mode de réalisation, l'invention fournit également un renfort d'onde destiné à être logé sous une ondulation d'une membrane d'étanchéité de cuve étanche et thermiquement isolante, ledit renfort d'onde comportant une paroi plane destinée à reposer sur une surface de support et une paroi externe délimitant
10 conjointement un espace interne dudit renfort d'onde, le renfort d'onde comportant en outre dans ledit espace interne un voile interne présentant une forme circulaire tronquée par la paroi plane, ledit voile interne étant tangent à la paroi externe de part et d'autre d'un sommet de ladite paroi externe.

Selon un mode de réalisation, la paroi externe présente une forme convexe
15 semi-elliptique.

Une telle paroi de 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 ou tout navire utilisant un gaz liquéfié combustible comme carburant, une unité flottante de stockage
20 et de regazéification (FSRU), une unité flottante de production et de stockage déportée (FPSO) et autres.

Selon un mode de réalisation, l'invention fournit un navire pour le transport d'un produit liquide froid comporte une double coque et une cuve comportant la paroi étanche précitée disposée dans la double coque.

25 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.

Selon un mode de réalisation, l'invention fournit aussi un système de
30 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 entraîner 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.

Brève description des figures

- 5 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.
- 10
- La figure 1 est une vue en perspective schématique d'une portion de paroi de cuve étanche et thermiquement isolante dans laquelle la membrane d'étanchéité est partiellement illustrée ;
 - La figure 2 est une vue de dessus d'une barrière thermiquement isolante de la paroi de cuve étanche et thermiquement isolante de la figure 1 dans laquelle la membrane d'étanchéité n'est pas illustrée ;
- 15
- La figure 3 est une vue en coupe d'une ondulation de la membrane étanche de la figure 1 dans laquelle sont logés des renforts d'onde reliés par un organe de liaison au niveau d'un nœud de la membrane d'étanchéité.
- 20
- La figure 4 est une vue en perspective partielle avec coupe d'un renfort d'onde selon un premier mode de réalisation ;
 - La figure 5 est une vue en perspective schématique d'un organe de liaison selon un premier mode de réalisation ;
 - La figure 6 est une vue en coupe d'une variante de réalisation de l'organe de liaison de la figure 5 ;
- 25
- La figure 7 est une vue en perspective schématique avec coupe d'un renfort d'onde selon un deuxième mode de réalisation ;
 - Les figures 8 et 9 sont des vues en coupe de variantes de réalisation du renfort d'onde des figures 4 ou 7 ;

- Les figures 10 et 11 sont des vues en perspectives schématiques de renforts d'onde reliés au niveau d'un nœud par des organes de liaison selon des variantes de réalisation de la figure 5 ;
- 5 • Les figures 12 à 14 sont des vues en perspectives schématiques d'une paroi de cuve étanche et thermiquement isolante en cours de montage illustrant des étapes de montage des renforts d'onde et de la membrane d'étanchéité sur la barrière thermiquement isolante ;
- 10 • La figure 15 est une vue en perspective schématique d'un élément de membrane étanche selon une variante de montage de la membrane d'étanchéité sur la barrière thermiquement isolante ;
- 15 • La figure 16 est une représentation schématique écorchée d'une cuve de navire méthanier et d'un terminal de chargement/déchargement de cette cuve ;
- 20 • La figure 17 est une vue en perspective schématique de renforts d'onde reliés au niveau d'un nœud par un organe de liaison selon une variante de réalisation de la figure 11 ;
- 25 • La figure 18 est une vue en perspective schématique de l'entretoise rapportée de la figure 17 ;
- 20 • La figure 19 est une vue en perspective schématique de l'organe de liaison de la figure 17 ;
- 25 • la figure 20 est une vue en perspective schématique de renforts d'onde reliés au niveau d'un nœud par un organe de liaison selon une variante de réalisation de la figure 17 ;
- 25 • La figure 21 est une vue en perspective schématique de l'organe de liaison de la figure 20 ;
- 25 • La figure 22 est une vue de dessus d'un treillis de renfort d'ondes selon une variante de montage des renforts d'ondes de la figure 15 ;

- La figure 23 est une vue de dessous d'une membrane d'étanchéité renforcée illustrant un demi-renfort d'onde au niveau de la jonction entre deux plaques métalliques adjacentes.
- 5 • Les figures 24 et 25 sont des vues en coupe de renforts d'ondes selon des variantes de réalisation ;
- La figure 26 est une vue en perspective schématique de renforts d'onde tels qu'illustrés sur les figures 24 et 25 reliés au niveau d'un nœud par un organe de liaison ;
- 10 • Les figures 27 et 28 sont des vues en coupe de renforts d'ondes selon des variantes de réalisation ;
- La figure 29 est une vue en perspective schématique avec transparence d'un nœud de la membrane étanche primaire situé au niveau d'un angle de la paroi de cuve, ledit angle étant formé par deux pans de ladite paroi de cuve, un organe de liaison selon une
15 variante de réalisation étant logé dans ledit nœud ;
- La figure 30 est une vue en perspective schématique de l'organe de liaison de la figure 29.

Description détaillée de modes de réalisation

20 Par convention, les termes « externe » et « interne » sont utilisés pour définir la position relative d'un élément par rapport à un autre, par référence à l'intérieur et à l'extérieur de la cuve.

Une cuve étanche et thermiquement isolante pour le stockage et le transport d'un fluide cryogénique, par exemple du Gaz Naturel Liquéfié (GNL) comporte une pluralité de parois de cuves présentant chacune une structure multicouche.

25 Une telle paroi de cuve comporte, depuis l'extérieur vers l'intérieur de la cuve, une barrière d'isolation thermique ancrée à une structure porteuse par des organes de retenue et une membrane d'étanchéité portée par la barrière d'isolation thermique et destinée à être en contact avec le fluide cryogénique contenu dans la cuve.

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

La cuve peut aussi comporter une pluralité de barrières d'isolation thermique et de membranes d'étanchéité. Par exemple, depuis l'extérieur vers l'intérieur de la cuve, une cuve peut comporter une barrière d'isolation thermique secondaire ancrée
10 sur la structure porteuse, une membrane d'étanchéité secondaire portée par la barrière d'isolation thermique secondaire, une barrière d'isolation thermique primaire reposant sur la membrane d'étanchéité secondaire et une membrane d'étanchéité primaire reposant sur la barrière d'isolation thermique primaire. La barrière d'isolation thermique peut être réalisée de nombreuses manières, en de nombreux matériaux
15 selon des techniques connues telles que, par exemples, décrites dans les documents WO2017017337 ou WO2017006044. Les membranes d'étanchéité peuvent être constituées de pièces métalliques rectangulaires ondulées comportant des séries d'ondulations de tailles différentes ou similaires.

La figure 1 illustre partiellement une membrane d'étanchéité 1 destinée à
20 être au contact du fluide contenu dans la cuve et ancrée sur une barrière thermiquement isolante 2. Cette membrane d'étanchéité 1 comporte une pluralité de plaques métalliques ondulées de forme rectangulaire et ancrées sur la barrière thermiquement isolante 2. La membrane d'étanchéité 1 comporte une première série d'ondulations parallèles, dites ondulations hautes 3, s'étendant selon une première
25 direction, et une seconde série d'ondulations parallèles, dites ondulations basses 4, s'étendant selon une deuxième direction. Les termes « haute » et « basse » ont ici un sens relatif et signifient que la première série d'ondulations 3 présente une hauteur supérieure à la seconde série d'ondulations 4. Les première et deuxième directions sont perpendiculaires. Ainsi, les ondulations hautes 3 forment avec les ondulations
30 basses 4 des nœuds 5 au niveau de chaque intersection entre elles. Autrement dit, chaque ondulation 3, 4 comporte une succession de portion longitudinale 6 et de nœud 5, lesdits nœuds étant formés par l'intersection de ladite ondulation 3, 4 avec

une ondulation 4, 3 perpendiculaire. De telles portions longitudinales 6 présentent une section sensiblement constante, le changement de section de l'ondulation 3, 4 au niveau de l'intersection entre deux ondulations 3, 4 marquant le début du nœud 5. Cependant, la portion longitudinale 6 peut comporter des déformations locales (non 5 illustrées) telles que décrites dans le document FR2861060.

Un nœud 5 comporte un pli 7 qui prolonge l'arête de sommet 8 (voir figure 3) de l'ondulation haute 3 formant ledit nœud. L'arête de sommet 8 de l'ondulation haute 3 comporte une paire d'ondulations concaves 9 (illustrées plus en détail sur la figure 3) dont la concavité est tournée vers l'intérieur de la cuve et qui sont disposées 10 de part et d'autre du pli 7.

D'autres détails et caractéristiques possibles de la membrane d'étanchéité 1, des plaques métalliques ondulées formant ladite membrane d'étanchéité 1, et de la structure des nœuds 5 sont décrits dans les documents WO2017017337 ou WO 2017006044. A titre d'exemple, la membrane d'étanchéité 1 peut être réalisée en tôle 15 d'acier inoxydable ou d'aluminium et présente une épaisseur d'environ 1,2 mm et peut être mise en forme par emboutissage ou pliage. D'autres métaux ou alliages et d'autres épaisseurs sont possibles.

Comme illustré sur les figures 1 et 2, des rangées de premiers renforts d'onde 11 sont agencées sous les ondulations hautes 3. De même, des rangées de 20 deuxièmes renforts d'onde 12 sont agencées sous les ondulations basses 4. Ces renforts d'onde 11, 12 permettent de soutenir et renforcer les ondulations 3, 4 de la membrane d'étanchéité en présence de contraintes liées par exemple aux mouvements de fluide dans la cuve. De tels renforts d'onde 11, 12 peuvent être réalisés en de nombreux matériaux comme par exemple dans des matériaux tels que 25 des métaux, notamment l'aluminium, des alliages de métaux, des matières plastiques, notamment polyéthylène, polycarbonate, polyéther imide, ou des matériaux composites comportant des fibres, notamment fibres de verre, liées par une résine plastique.

Les premiers renforts d'onde 11 sont agencés sous chaque portion 30 longitudinale 6 des ondulations hautes 3. De même, les deuxièmes renforts d'onde 12 sont agencés sous chaque portion longitudinale 6 des ondulations basses 4.

Cependant, les contraintes dans la cuve ne sont pas toujours uniformes. Ainsi, une ondulation haute 3 peut être sujette sur sa longueur à des contraintes dissymétriques. De telles contraintes dissymétriques se traduisent par l'application d'une contrainte latérale sur une portion longitudinale 6 de l'ondulation haute 3 sans
5 que la portion longitudinale 6 adjacente de ladite ondulation haute 3 ne soit sujette à une contrainte analogue. En présence de telles contraintes dissymétriques, l'ondulation haute 3 peut être sujette à une torsion importante au niveau du nœud 5 séparant les deux portions longitudinales 6 successives sujettes à ladite contrainte dissymétrique.

10 Pour éviter cela, comme expliqué ci-après plus en détail en regard des figures 3 à 5, les premiers renforts d'onde 11 agencés sous une même ondulation haute 3 sont assemblés par un organe de liaison 13. De tels organes de liaison 13 sont agencés sous l'ondulation haute 3 au niveau de chaque nœud 5 pour associer deux premiers renforts d'onde 11 successifs dans ladite ondulation haute 3.

15 De tels organes de liaison 13 permettent d'aligner de façon stable deux premiers renforts d'onde 11 successifs. Ainsi, chaque ondulation haute 3 est soutenue par une rangée de premiers renforts d'onde 11 associés deux à deux le long de ladite ondulation haute 3 selon un alignement correspondant à la direction longitudinale de ladite ondulation haute 3. Ainsi, lorsqu'une ondulation haute 3 est
20 sujette à une contrainte dissymétrique, l'organe de liaison 13 permet de conserver l'alignement des premiers renforts d'onde 11 successifs et donc d'éviter la torsion de la membrane étanche 1 au niveau du nœud 5. En particulier, le premier renfort d'onde 11 agencé sous la portion longitudinale 6 sujette à une contrainte transmet une partie de l'effort aux premiers renforts d'onde 11 auxquels il est lié via les organes de liaison
25 13, permettant ainsi de répartir ledit effort sur les premiers renforts d'onde 11 adjacents. Autrement dit, les organes de liaison 13 permettent à la rangée de premiers renforts d'onde 11 de fonctionner de façon sensiblement analogue en présence de contraintes dissymétriques et de contraintes symétriques le long de l'ondulation haute 3 sous laquelle ladite rangée de premiers renforts d'onde 11 est
30 agencée. Ainsi, les ondulations hautes 3 sont renforcées de façon uniforme sur toute leur longueur et les risques de torsions importantes en cas de contraintes dissymétriques sont réduits voire supprimés.

Comme illustré sur la figure 2, la distance séparant deux premiers renforts d'onde 11 successifs est supérieure à la largeur des deuxièmes renforts d'onde 12. Par ailleurs, les deuxièmes renforts d'onde 12 se développent dans les portions longitudinales 6 des ondulations basses 4 jusqu'à venir en contact avec les organes de liaison 13 logés dans les nœuds 5 formés aux extrémités desdites portions longitudinales 6. Ainsi, des extrémités 14 de chaque deuxième renfort d'onde 12 sont agencées entre deux premiers renforts d'onde 11 adjacents. Ainsi, les deuxièmes renforts d'onde 12 sont bloqués au niveau des nœuds d'une part latéralement par les premiers renforts d'onde 11 et, d'autre part, longitudinalement par les organes de liaisons 13 logés dans lesdits nœuds.

Les premiers renforts d'onde 11 sont décrits ci-après en regard des figures 3 et 4. Un premier renfort d'onde 11 comporte une semelle 15 et une portion de renfort 16.

La semelle 15 présente une paroi inférieure 17, deux parois latérales 18 et une paroi supérieure 19. La paroi inférieure 17 est plane et repose sur la barrière d'isolation thermique 2. La paroi supérieure 19 est plane et parallèle à la paroi inférieure 17. Les parois latérales relient la paroi inférieure 17 et la paroi supérieure 19 sur toute la longueur du premier renfort d'onde 11. La paroi inférieure 17, les parois latérales 18 et la paroi supérieure 19 délimitent conjointement un espace interne creux de la semelle 15.

La semelle 15 comporte de préférence, comme illustré sur la figure 4, des parois de renforts 21 reliant dans l'espace creux la paroi inférieure 17 et la paroi supérieure 19. Ces parois de renforts 21 renforcent la semelle 15 et permettent en particulier à la semelle 15 de conserver sa forme même sous de fortes contraintes.

La portion de renfort 16 du premier renfort d'onde 11 comporte une paroi externe 22. Cette paroi externe 22 est de préférence de forme complémentaire à la forme de l'ondulation haute 3. Ainsi, comme illustré sur la figure 4, la paroi externe 22 présente une forme de dôme.

De préférence, la portion de renfort 16 est creuse afin de permettre la circulation de gaz d'inertage ou de détection de fuite dans la barrière d'isolation

thermique 2. Ainsi, la paroi supérieure 19 de la semelle 15 et la paroi externe 22 délimitent ensemble un espace interne creux de la portion de renfort 16.

La portion de renfort 16 comporte avantageusement des voiles internes 23 afin de renforcer ladite portion de renfort 16. Sur la figure 4, ces voiles internes 23 se
5 croisent sensiblement au centre de la portion de renfort 16.

La semelle 15 présente une longueur supérieure à la longueur de la portion de renfort 16. Ainsi, comme illustré sur la figure 4, la semelle 15 présente une portion saillante 24 qui fait saillie longitudinalement au-delà de la portion de renfort 16.

Le premier renfort d'onde 11 peut être fabriqué de nombreuses manières.
10 De préférence, le premier renfort d'onde 11 est réalisé dans un premier temps de section constante par extrusion sur toute la longueur dudit premier renfort d'onde 11. Puis, dans un second temps, la portion de renfort 16 est usinée pour réaliser la portion saillante 24 de la semelle 15. De préférence, la portion de renfort 16 est usinée en biseau au niveau de sa jonction avec la portion saillante 24, la portion de renfort
15 présentant ainsi une longueur maximale au niveau de sa jonction avec la semelle 15.

La figure 3 illustre deux premiers renforts d'onde 11 au niveau d'un nœud 5 assemblés par l'organe de liaison 13. Comme expliqué ci-dessus, l'ondulation haute 3 présente au niveau du nœud 5 deux portions concaves 9 séparée par un pli 7. Ces ondulations concaves 9 forment un rétrécissement de la hauteur de l'ondulation haute
20 3 au niveau du nœud 5. L'arête de sommet 8 de l'ondulation haute 3 présente ainsi une section uniforme jusqu'au rétrécissement formé par les ondulations concaves 9 au niveau du nœud 5.

La longueur de la portion de renfort 16 au sommet de la paroi externe 22 est par exemple égale à la longueur de la portion longitudinale 6 de l'ondulation haute 3
25 qui présente une section uniforme entre deux nœuds 5. Cette portion à section uniforme s'arrête lorsque l'ondulation haute 3 présente un léger étranglement latéral marquant le début du nœud 5, dont la géométrie est complexe comme expliqué plus haut. Par ailleurs, la forme en biseau des portions de renfort 16 correspond sensiblement à l'inclinaison de cet étranglement latéral, de sorte que la portion de
30 renfort 16 s'approche le plus près possible du nœud 5 pour optimiser le soutien de l'ondulation.

Par ailleurs, de façon non illustrée, la tranche de la paroi externe 22 est également biseautée. Ainsi, la tranche de la paroi externe présente une face inclinée par rapport à l'axe longitudinal de la portion de renfort 16. Cette tranche biseautée présente une face en biseau tournée vers l'ondulation haute 3. Ainsi, si le premier

5 renfort d'onde 11 se déplace selon la direction longitudinale dans l'ondulation haute dans laquelle il est logé, le contact entre la portion de renfort 16 et l'ondulation haute 3 se fait au niveau de la tranche biseautée dont la face épouse la forme de l'ondulation haute. Ce contact se fait donc sans risque de dégradation de l'ondulation haute par coopération entre la tranche biseautée et l'ondulation haute 3, la tranche de la paroi

10 externe 22 ne risquant pas de dégrader l'ondulation haute 3.

La semelle 15 présente une largeur inférieure à la largeur de l'étranglement latéral marquant le début du nœud 5. Autrement dit, la distance séparant les parois latérales 18 de la semelle 15 est inférieure à la largeur de l'ondulation haute 3 au niveau de l'étranglement latéral marquant le début du nœud 5. Ainsi, la portion

15 saillante 24 de la semelle 15 peut être insérée dans le nœud 5 comme illustré sur la figure 3.

Avantageusement, la portion saillante 24 du premier renfort d'onde 11 fait saillie longitudinalement dans le nœud 5 en direction du pli 7 au-delà du rétrécissement minimal de hauteur de l'ondulation haute 3 formé par la portion

20 concave 9. Cependant, la distance séparant les portions saillantes 24 de deux premiers renforts d'onde 11 successifs est supérieure à la largeur du deuxième renfort d'onde 12 adjacent logé dans l'ondulation basse 4 formant le nœud 5. Autrement dit, les portions saillantes 24 des premiers renforts d'onde 11 sont arrêtées avant

25 l'ondulation basse 4 de manière à ne pas être dans le prolongement de ladite ondulation basse 4. Ainsi, comme illustré sur la figure 2, les deuxièmes renforts d'onde 12 peuvent se développer de manière à être insérés dans le nœud 5 intercalés entre les semelles 15 des deux premiers renforts d'onde 11. Ainsi, lesdits deuxièmes renforts d'onde 12 peuvent être maintenus en position par coopération avec les semelles 15 desdits premiers renforts d'onde 11.

30 L'organe de liaison 13 est logé dans les semelles 15 des deux premiers renforts d'onde 11 successifs de manière à assembler lesdits premiers renforts d'onde 11 successifs.

La figure 5 illustre un exemple d'organe de liaison tel qu'inséré dans les semelles 15 des deux premiers renforts d'onde 11 successifs illustrés sur la figure 3. Un tel organe de liaison se présente sous la forme d'un manchon 25 parallélépipédique dont la largeur est inférieure à la distance séparant les parois de renfort 21 des semelles 15. Plus particulièrement, le manchon 25 présente une section dont les dimensions sont légèrement inférieures aux dimensions d'un logement 20 (voir figure 4) délimité par la paroi inférieure 17, la paroi supérieure 19 et les parois de renfort 21 des semelles 15.

La complémentarité de forme entre l'organe de liaison 13 et le logement 20 de deux premiers renforts d'onde 11 successifs permet l'insertion de l'organe de liaison 13 dans les logements 20 avec une bonne coopération entre l'organe de liaison 13 et les semelles desdits premiers renforts d'onde 11, assurant ainsi un bon maintien de l'alignement desdits premiers renforts d'onde 11.

Par exemple, l'organe de liaison 13 peut être inséré dans chaque logement 20 sur une distance de 2 à 3 cm, ou encore, de préférence, sur une distance supérieure à 5cm, notamment de 5 à 8 cm, afin de coopérer avec les premiers renforts d'onde 11 sur une longueur suffisante au maintien stable de l'alignement desdits premiers renforts d'ondes 11.

Comme illustré sur la figure 2, les deuxième renforts d'onde 12 sont insérés dans les nœuds 5 de manière à présenter un jeu minimal voire être en contact avec les organes de liaison 13. Ainsi, les deuxième renforts d'onde 12 peuvent bloquer en translation l'organe de liaison 13 avec lequel ils coopèrent.

Un organe de liaison 13 sous la forme de manchon 25 peut avantageusement être inséré de façon glissante dans la semelle 15 permettant de s'affranchir des tolérances de constructions et d'assurer par insertion plus ou moins importante du manchon 25 dans les semelles 15 de rattraper les jeux de construction éventuels. Ainsi, un tel manchon 25 présente une portion centrale 27 et deux extrémités 28 séparées par ladite portion centrale 27. La portion centrale 27 correspond à la distance séparant les deux semelles 15 et les extrémités 28 sont les portions dudit manchon 25 insérées dans les semelles 15. Le glissement relatif entre

l'organe de liaison 13 et les premiers renforts d'onde 11 permet aussi d'absorber la contraction thermique des renforts d'ondes sans produire de contraintes.

Un tel manchon 25 peut être réalisé de nombreuses manières et peut être plein ou creux.

5 La figure 6 illustre une variante de réalisation du manchon 25 illustré sur la figure 5. Dans cette variante de réalisation, l'organe de liaison 13 présente une portion centrale 27 séparant deux extrémités longitudinales 28. La portion centrale 27 forme une surépaisseur par rapport aux extrémités 28. De façon analogue à la plaque 25, les extrémités 28 présentent une section de forme complémentaire à la forme des
10 logements 20 des premiers renforts d'onde 11. Ainsi, chaque extrémité 28 d'un tel organe de liaison 13 est insérée dans un logement 20 respectif jusqu'à ce que la semelle 15 comportant ledit logement 20 vienne en butée contre la portion centrale 27. Autrement dit, la portion centrale 27 forme deux surfaces de butées limitant l'insertion de l'organe de liaison 13 dans les logements 20 des semelles 15 dans
15 lesquels les extrémités 28 dudit organe de liaison 13 sont insérées.

Les surfaces de butée permettant de limiter l'insertion de l'organe de liaison 13 dans les semelles 15 pourraient être réalisées de nombreuses manières. Dans un mode de réalisation non illustré, des pièces rapportées sont fixées sur une face supérieure de la plaque 25 afin de former lesdites surfaces de butées. Ainsi, par
20 exemple des vis peuvent être fixées de façon non traversante sur la plaque 25 afin de faire saillie de ladite plaque 25, l'insertion de la plaque 25 dans les logements 20 étant limitée par butée de la paroi supérieure 19 des semelles sur ces vis. Dans un autre mode de réalisation non illustré, des rivets pourraient remplir la même fonction, de tels rivets étant de préférence saillants de la surface supérieure de la plaque 25
25 uniquement. Dans un autre mode non illustré mais dérivé de la figure 10, la pièce 33 peut être élargie de telle manière à ce que ses bords tournés vers les premiers renforts d'ondes 11 servent de butée auxdits premiers renforts d'ondes 11 en plus de servir à la liaison avec les pattes 34.

Les figures 7 à 9 illustrent des variantes de réalisations du premier renfort
30 d'ondes 11. Les éléments identiques ou remplissant la même fonction que des éléments décrits ci-dessus en regard des figures 1 à 6 portent la même référence.

Les variantes des premiers renforts d'onde 11 sont aussi applicables aux deuxièmes renforts d'ondes 12.

La figure 7 illustre une première variante du premier renfort d'onde 11 illustré sur la figure 4. Cette variante se distingue de celle illustrée sur la figure 4 en ce que
5 l'extrémité de la portion de renfort 16 depuis laquelle fait saillie la portion saillante 24 est droite, c'est-à-dire n'est pas biseautée de sorte que la portion de renfort présente une longueur constante.

La figure 8 illustre une deuxième variante de premier renfort d'onde 11. Sur la figure 8, le premier renfort d'onde 11 comporte une semelle 15 et une portion de
10 renfort 16.

La semelle 15 comporte une paroi inférieure 17, deux parois latérales 18 et une paroi supérieure 19. La paroi inférieure 17, les parois latérales 18 et la paroi supérieure 19 définissent conjointement un passage creux de la semelle 15. La semelle 15 comporte en outre dans ledit passage creux des parois de renforts 21
15 reliant la paroi inférieure 17 et la paroi supérieure 19.

La portion de renfort comporte une paroi externe 22. Cette paroi externe présente une forme complémentaire à la forme de l'ondulation haute 3 sous laquelle le premier renfort d'onde est destiné à être logé. Typiquement, la paroi externe 22 présente deux parois latérales 29 formant chacune une face latérale de la portion de
20 renfort 16. Chaque paroi latérale 29 se développe depuis la semelle 15, plus particulièrement depuis une extrémité supérieure d'une paroi latérale 18 respective de la semelle 15, jusqu'à un sommet de la portion de renfort 16. La paroi externe délimite avec la paroi supérieure 19 de la semelle 15 un passage creux de la portion de renfort 16.

25 La portion de renfort comporte en outre un voile interne 23. Ce voile interne présente dans la variante illustrée sur la figure 8 une forme circulaire tronquée par la paroi supérieure 19 de la semelle 15. Ce voile interne 23 de forme circulaire tronquée est tangent aux parois latérales 29 de la paroi externe 22. Plus particulièrement, deux premières portions courbes 30 du voile interne 23 relient chacune la paroi supérieure
30 19 de la semelle 15 à une face interne de paroi latérale 29 respective. Une deuxième portion courbe 31 relie les deux faces latérales 29 de la paroi externe 22.

De préférence, la jonction entre chaque première portion courbe 30 et la paroi supérieure 19 de la semelle 15 est réalisée sur une face supérieure de ladite paroi supérieure 19 au droit de la jonction entre une face inférieure de ladite paroi supérieure 19 et un voile de renfort 21 respectif de la semelle 15.

5 Dans une variante illustrée sur la figure 9, la portion de renfort 16 comporte en outre des voiles de renforts sécants 32. Ces voiles de renforts sécants 32 relient une face latérale 29 de la paroi externe 22 respective et la paroi supérieure 19 de la semelle. Ces voiles de renforts sécants 32 se croisent au niveau d'un plan de symétrie X du premier renfort d'onde se développant selon une direction longitudinale du
10 premier renfort d'onde 11 perpendiculairement à la paroi supérieure 19 de la semelle 15 et passant par le sommet 10 de la portion de renfort 16. De préférence, un voile de renfort 32 se développant depuis l'une des parois latérale 29 est jointif de la paroi supérieure 19 de la semelle 15 au niveau de la jonction entre la première portion de courbe 30 reliant l'autre paroi latérale 29 et la paroi supérieure 19 de la semelle 15.

15 Dans une variante non illustrée, les voiles renforts 32 du premier renfort d'onde 11 tel qu'illustré sur la figure 9 sont remplacés par un voile de renfort parallèle à la paroi supérieure 19. Un tel voile de renfort est par exemple jointif de la face interne des parois latérales 29 formée par la paroi externe 22 au niveau de la jonction tangentielle entre le voile interne 23 de forme circulaire tronquée et lesdites parois
20 faces internes de la paroi latérale 29.

Les figures 10 et 11 sont des vues en perspectives schématiques de renforts d'onde reliés au niveau d'un nœud par des organes de liaison selon des variantes de réalisation de la figure 5. Les éléments identiques ou remplissant la même fonction que des éléments décrits ci-dessus portent la même référence.

25 L'organe de liaison 13 illustré sur la figure 10 comporte un manchon 25 tel que décrit en regard de la figure 5. Ainsi, ce manchon 25 comporte une portion centrale 27 séparant deux extrémités 28 de ladite plaque 24 logées dans les semelles 15 de deux premiers renforts d'onde 11 successifs.

Dans cette variante, une plaque 33 est fixée sur la portion centrale 27 du
30 manchon 25. Cette plaque 33 est fixée de façon non traversante sur le manchon 25

afin de ne pas faire saillie du manchon 25 en direction de la barrière d'isolation thermique 2.

La plaque 33 porte deux pattes 34 qui font chacune saillie latéralement du manchon 25. Les pattes 34 sont chacune logée dans la portion creuse d'un deuxième
5 renfort d'onde 12.

Chaque patte 34 est de préférence élastique. Sur le mode de réalisation illustré sur la figure 10, ces pattes 34 élastiques sont formées par une extrémité coudée de la plaque 33. Les pattes 34 élastiques sont conformées pour exercer sur les deuxièmes renforts d'onde 12 dans lesquels elles sont insérées une force de
10 maintien en direction de la barrière thermiquement isolante 2. Ainsi, ces pattes 34 élastiques permettent avantageusement de maintenir en position sur la barrière d'isolation thermique 2 les deuxièmes renforts d'onde 12 dans lesquels elles sont insérées.

Dans le mode de réalisation illustré sur la figure 10, les premiers renforts
15 d'onde 11 et les deuxièmes renforts d'onde présentent chacun une semelle 15 et une portion de renfort 16. Cependant, les semelles 15 des deuxièmes renforts d'onde 12 ne comportent pas de portion saillante 24 contrairement aux premiers renforts d'onde 11.

Pour une meilleure lisibilité des figures 10 et 11, les parois de renfort 21 et
20 les voiles internes 23 des renforts d'ondes 11, 12 ne sont pas illustrés, les renforts d'ondes 11, 12 illustrés sur ces figures 10 et 11 pouvant comporter ou non des parois de renforts 21 et/ou des voiles internes 23 tels que décrits ci-dessus.

Le maintien des deuxièmes renforts d'onde solidarisé avec l'organe de liaison peut être réalisé de nombreuses autres manières. Dans un mode de réalisation
25 non illustré, les deuxièmes renforts d'onde 12 comportent des voiles internes de renfort comme sur la figure 3 et les pattes 34 présentent une extrémité clipsée auxdits voiles internes des deuxièmes renforts d'onde 12. Dans un autre mode de réalisation non illustré, la portion creuse des deuxièmes renforts d'onde présente un ergot sur lequel est clipsée l'extrémité de la patte 34.

30 Le mode de réalisation illustré sur la figure 11 se distingue de celui illustré sur la figure 10 en ce que les pattes 34 sont intégrées au manchon 25. Typiquement

l'organe de liaison 13 présente la forme d'une croix comportant quatre pattes, deux pattes 28 opposées étant logées dans la semelle 15 des premiers renforts d'onde 11 et deux pattes opposées 34 étant logées dans les semelles 15 des deuxièmes renforts d'onde 12. Autrement dit, l'organe de liaison 13 illustré sur la figure 11 s'apparente à un manchon 25 plein ou creux dont la portion centrale 27 se développe latéralement pour former les pattes 34 logées dans les semelles 15 des deuxièmes renforts d'onde 12. Par exemple, les pattes 34 de l'organe de liaison 13 peuvent être insérées dans les semelles 15 des deuxièmes renforts d'onde 12 sur une distance de 2 à 3 cm, ou encore, de préférence, sur une distance supérieure à 4cm, notamment de 4 à 6 cm, afin de coopérer avec les seconds renforts d'onde 12 sur une longueur suffisante au maintien stable de l'alignement desdits seconds renforts d'ondes 12

Les figures 12 à 14 sont des vues en perspectives schématiques d'une paroi de cuve étanche et thermiquement isolante en cours de montage illustrant des étapes de montage des renforts d'onde et de la membrane d'étanchéité sur la barrière thermiquement isolante.

Lors du montage de la cuve, des rangées de renforts d'onde 11, 12 sont installés et maintenus en position sur la barrière d'isolation thermique 2 avant d'être recouverts par des plaques métalliques ondulées. Ces plaques métalliques ondulées sont de forme rectangulaire et portent des ondulations hautes 3 et des ondulations basses 4. Les bords desdites plaques métalliques ondulées coupent les ondulations hautes 3 et les ondulations basses 4 entre deux nœuds successifs desdites ondulations 3, 4. Ainsi, des renforts d'onde 11, 12 positionnés sous des ondulations 3, 4 au niveau des bords de plaques métalliques ondulées sont recouverts conjointement par deux plaques métalliques ondulées successives.

Sur la figure 12 est partiellement illustrée une membrane d'étanchéité 1 en cours de montage. Sur cette figure 12, certaines plaques métalliques de la membrane d'étanchéité 1 ont déjà été ancrées sur des inserts métalliques 35 de la barrière d'isolation thermique 2. Ainsi, des portions 36 des renforts d'onde 11, 12 logés sous des ondulations 3, 4 de plaques métalliques déjà installées sont partiellement non recouverts par lesdites plaques métalliques déjà installées.

Dans un premier temps, comme illustré sur la figure 12, des rangées 37 de premiers renforts d'onde 11 sont positionnées sur la barrière d'isolation thermique 2.

Ces rangées 37 comportent une pluralité de premiers renforts d'onde 11 assemblés ensembles par des organes de liaisons de manière à former une guirlande de premiers renforts d'onde 11.

Une première extrémité 38 de ces rangées 37 de premiers renforts d'onde
5 est en outre assemblée au moyen d'un organe de liaison 13 aux premiers renforts d'onde 11 partiellement recouverts par la plaque métallique déjà ancrée sur la barrière d'isolation. Ainsi, cette première extrémité 38 des rangées 37 est maintenue en position sur la barrière d'isolation thermique 2 par ladite plaque métallique déjà ancrée sur la barrière d'isolation thermique 2.

10 Une deuxième extrémité 39 de ces rangées 37 de premiers renforts d'onde 11 opposée à la première extrémité 38 est maintenue en position sur la barrière d'isolation thermique 2 au moyen d'un rail de fixation 40. Ce rail de fixation 40 est fixé de façon provisoire sur la barrière d'isolation thermique 2 par tout moyen adapté, par exemple au moyen de vis, clous ou autre. Ce rail de fixation 40 est par exemple fixé
15 de façon provisoire sur les inserts métalliques 35, lesdits inserts métalliques comportant par exemple un orifice avec filetage permettant la coopération avec une vis de fixation du rail métallique 40. Dans un autre mode de réalisation, le rail de fixation 40 peut être ancré de façon provisoire sur des goujons servant à l'ancrage de la barrière d'isolation thermique 2 ou au moyen d'une patte de fixation se glissant
20 dans l'espace entre deux panneaux isolants formant la barrière d'isolation thermique 2. Ce rail de fixation 40 recouvre la deuxième extrémité 39 de chaque rangée 37 afin de maintenir en position sur la barrière d'isolation thermique 2 ladite deuxième extrémité 39 de ces rangées 37.

Les organes de liaison 13 et la fixation des extrémités 38, 39 des rangées
25 37 de premiers renforts d'onde 11 permettent ainsi de maintenir en position lesdites rangées 37 sur la barrière d'isolation thermique 2.

Dans un second temps, comme illustré sur la figure 13, des rangées 41 de deuxièmes renforts d'onde 12 sont positionnées sur la barrière d'isolation thermique 2. Ces deuxièmes renforts d'onde 12 sont maintenus en position sur la barrière
30 d'isolation thermique 2 par tout moyen adapté, par exemple à l'aide des pattes 34 des organes de liaison 13 décrits ci-dessus, par du scotch® double face ou autre.

Dans le mode de réalisation illustré sur les figures 12 à 14, chaque plaque métallique ondulée comporte trois portions d'ondulations hautes 3. Par ailleurs, les deuxièmes renforts d'onde 12 sont maintenus en position sur la barrière d'isolation thermique 2 par les pattes 34 des organes de liaison 13 reliant les premiers renforts d'onde 11 entre eux. En conséquence, quatre rangées 37 de premiers renforts d'onde sont installées sur la barrière d'isolation thermique 2, la quatrième rangée 37 permettant d'assurer la fixation des deuxièmes renforts d'onde 12 d'extrémité des rangées 41 préalablement à l'installation de la plaque métallique ondulée destinée à les recouvrir.

10 Enfin, dans un troisième temps illustré sur la figure 14, la plaque métallique ondulée de la barrière d'étanchéité est ancrée sur la barrière d'isolation thermique 2 par soudure sur les inserts métalliques 35, recouvrant ainsi les rangées 37, 41 de renforts d'onde 11, 12 et assurant leur fixation sur la barrière d'isolation thermique 2. Dès lors, le rail de fixation 38 peut être retiré et l'installation des renforts d'onde 11, 12 et des plaques métalliques poursuivie en répétant les étapes décrites ci-dessus.

La figure 15 illustre une variante de réalisation du montage de la membrane d'étanchéité. Dans cette variante, les renforts d'onde ne sont pas fixés de façon provisoire à la barrière d'isolation thermique 2 mais aux plaques métalliques. Ainsi, des premiers renforts d'onde 11 sont installés dans les ondulations hautes 3 d'une plaque métallique 42 ondulée. Ces premiers renforts d'onde 11 sont assemblés par des organes de liaison 13.

Comme expliqué ci-dessus, les bords d'une telle plaque métallique ondulée 42 interrompent les ondulations hautes 3 entre deux nœuds 5. En conséquence, des premiers demi-renforts d'onde 43 sont agencés au niveau des ondulations hautes 3 interrompues par les bords de la plaque métallique 42. Afin d'assurer le maintien des premiers renforts d'onde 11, 43 dans l'ondulation haute 3 de la plaque métallique 42, des clips de maintien 44 sont agencés sur les bords de ladite plaque métallique 42. Ces clips de maintien 44 comportent une portion agencée sur la face interne de la plaque métallique 42 et une portion logée dans la portion de renfort 16 du premier demi-renfort d'onde 43, comme illustré sur la figure 15.

De façon analogue aux premiers renforts d'onde 11, 43, les deuxièmes renforts d'onde 12 sont installés dans les ondulations basses 4 de la plaque métallique 42 et des demis deuxièmes renforts d'onde 45 sont installés les portions d'ondulations basses interrompues au niveau des bords de la plaque métallique 42.

- 5 Les deuxièmes renforts d'onde 12 et ces demis deuxièmes renforts d'onde 45 sont maintenus dans les ondulations basses 4 par coopération avec les organes de liaison 13 entre les premiers renforts d'onde 11 et des clips de maintien (non représentés) analogues aux clips de maintien 44.

- Ainsi, les renforts d'onde 11, 12, 43, 45 sont maintenus en position dans la
10 plaque métallique 42 et forment un ensemble solidaire. Cet ensemble est positionné sur la barrière d'isolation thermique 2 puis, après positionnement, les clips de maintien sont retirés pour permettre la fixation par soudure des plaques métalliques 42 sur les inserts métalliques 35 de la barrière d'isolation thermique.

- Les figures 17 à 19 illustrent des renforts d'onde reliés au niveau d'un nœud
15 par un organe de liaison selon une variante de réalisation. Sur ces figures 17 à 19, les éléments identiques ou remplissant les mêmes fonctions que des éléments décrits ci-dessus portent les mêmes chiffres de référence.

- Cette variante de réalisation se distingue des variantes décrites ci-dessus en ce que les premiers renforts d'onde 11 logés sous les portions longitudinales 6 des
20 ondulations hautes 3 ne présentent pas de portion saillante 24. Ainsi, la semelle 15 et la portion de renfort 16 des premiers renforts d'onde 11 forment conjointement une face d'extrémité 46 du renfort d'onde 11. Cette face d'extrémité 46 est en regard du nœud 5 dans lequel est logé l'organe de liaison 13, le nœud 5 n'étant pas illustré sur la figure 17 pour une question de lisibilité.

- 25 De façon analogue au mode de réalisation décrit ci-dessus en regard de la figure 3, la face d'extrémité 46 est biseautée. Ainsi, la semelle 15 et la portion de renfort 16 sont biseautées de sorte que la face d'extrémité 46 soit située dans un plan incliné correspondant sensiblement à l'inclinaison de l'étranglement latéral au niveau du nœud 5. Ainsi, cette face d'extrémité 46 s'approche le plus près possible du nœud
30 5 pour optimiser le soutien de l'ondulation haute 3. De tels premiers renforts d'onde

11 sont simples à fabriquer et ne nécessitent pas d'usinage particulier de la portion de renfort 16 pour réaliser la portion saillante 24.

La portion saillante 24 est, dans ce mode de réalisation, remplacée par une entretoise rapportée 47. Cette entretoise rapportée 47 permet de soutenir la partie basse de l'ondulation haute 3 comme la portion saillante 24 décrite ci-dessus. Pour cela, l'entretoise rapportée 47 présente par exemple une structure analogue à la portion saillante 24, c'est-à-dire une structure analogue à la structure de la semelle 15.

Ainsi, comme illustré sur la figure 18, l'entretoise rapportée 47 est creuse et présente une paroi inférieure 48, deux parois latérales 49, une paroi supérieure 50 et des parois de renfort 51. L'entretoise rapportée 47 présente une face 61 complémentaire à la face d'extrémité 46 du renfort d'onde 11, c'est-à-dire biseauté selon un biseau opposé au biseau de la face 46. Les différentes parois 48, 49, 50, 51 de l'entretoise rapportée 47 prolongent les parois correspondantes 18, 19, 20, 21 de la semelle 15 dans le nœud 5. Autrement dit, l'entretoise rapportée 47 prolonge la semelle 15 du premier renfort d'onde 11 et est logée dans le nœud 5 de façon analogue à une portion saillante 24 telle que décrite ci-dessus.

De façon analogue à l'organe de liaison 13 décrit ci-dessus en regard de la figure 11, l'organe de liaison 13 tel qu'illustré sur la figure 19 présente une forme de croix. Ainsi, l'organe de liaison comporte un manchon 25 formant deux premières pattes opposées 28. Comme illustré sur la figure 17, ces premières pattes 28 traversent les entretoises rapportées 47 et sont logées dans les semelles 15 des premiers renforts d'onde 11 se joignant au niveau du nœud 5. Des deuxième pattes 34 permettant le maintien des deuxième renforts d'onde 12. Ces deuxième pattes 34 sont intégrées au manchon 25 et font saillie latéralement dudit manchon 25 de manière à être logées dans les semelles 15 desdits deuxième renforts d'onde 12 au niveau du nœud 5, comme illustré sur la figure 17.

Les premières pattes 28 de l'organe de liaison 13 illustrées sur la figure 19 présentent un orifice 52. De même, l'entretoise rapportée 47 telle qu'illustrée sur la figure 18 présente deux orifices 62. Ces orifices 52 et 62 permettent la fixation de l'entretoise rapportée 47 sur l'organe de liaison 13. Les entretoises rapportées 47 peuvent être fixées de nombreuses manières. Dans l'exemple illustré sur les figures

17 à 19, les entretoises rapportées 47 sont fixées sur l'organe de liaison 13 par rivetage au moyen de rivets 53. Dans un mode de réalisation non illustré, les entretoises rapportées 47 sont fixées sur l'organe de liaison 13 par vissage, par soudure ou par tout autre moyen adapté.

- 5 Les entretoises rapportées 47 permettent de limiter le coulisement des premiers renforts d'ondes 11 sous les ondulations hautes 3. En particulier, ces entretoises rapportées bloquent le déplacement des premiers renforts d'ondes 44 en direction du nœud 5, évitant ainsi que les faces d'extrémité 46 desdits premiers renforts d'ondes 11 n'entrent en contact avec la membrane d'étanchéité 1 au niveau
10 du nœud 5. Cette absence de contact permet d'éviter les dégradations de la membrane d'étanchéité 1 au niveau des nœuds 5.

En outre, de telles entretoises rapportées 47 remplissent le rôle de butée de blocage en position des premiers renforts d'ondes 11 et garantissent le bon positionnement desdits premiers renforts d'onde 11 sur la barrière thermiquement
15 isolante 2 lors de l'assemblage de la membrane d'étanchéité 1 sur la barrière thermiquement isolante 2. Cette fonction de butée est particulièrement utile dans le cas de parois de cuve présentant une composante verticale, évitant que les premiers renforts d'ondes 11 ne se déplacent sous l'effet de la gravité.

Les entretoises rapportées 47 peuvent être fixées sur l'organe de liaison 13
20 en préfabrication. Ainsi, des organes de liaison 13 sur lesquels sont préalablement fixées les entretoises rapportées 47 sont positionnés sur la barrière thermiquement isolante 2 et les premiers renforts d'ondes 11 sont positionnés sur ladite barrière thermiquement isolante 2 en insérant dans la semelle 15 desdits premiers renforts d'onde 11 les portions de pattes 28 faisant saillie de l'entretoise rapportée 47.

25 De préférence, dans le cadre d'un assemblage de membrane d'étanchéité tel que décrit ci-dessus en regard des figures 12 à 14, l'installation des premiers renforts d'ondes 11 destinés à renforcer les ondulations hautes 3 de la dernière plaque métallique installée pour finaliser l'assemblage de la membrane d'étanchéité 1 se fait avec des organes de liaisons 13 sur lesquels l'entretoise rapportée 47 n'est
30 pas préalablement fixée.

Typiquement, pour l'assemblage de la dernière plaque métallique de la membrane d'étanchéité, les entretoises rapportées 47 sont montées sur les premières pattes 28 des organes de liaison 13 correspondant sans être fixées. Lesdits organes de liaisons 13 sont positionnés sur la barrière thermiquement isolante 2. Les
5 entretoises rapportées sont alors coulissées le long des premières pattes 28 pour permettre le positionnement des premiers renforts d'onde 11 de manière à adapter la position desdits premiers renforts d'onde 11 aux contraintes de constructions engendrées par les portions de la membrane d'étanchéité 1 déjà installées. Les entretoises rapportées sont alors ramenées au contact desdits premiers renforts
10 d'ondes 11 et fixées sur l'organe de liaison 13.

Les figures 20 et 21 illustrent une variante de réalisation des figures 17 à 19. Cette variante se distingue de celle décrite ci-dessus en regard des figures 17 à 19 en ce que l'entretoise rapportée 47 est remplacée par une forme particulière de l'organe de liaison 13. Dans cette variante de réalisation, comme illustré sur les
15 figures 20 et 21, les premières pattes 28 de l'organe de liaison 13 présentent un épaulement 54 formant un changement de section desdites premières pattes 28. Typiquement, les premières pattes 28 présentent une première portion 55 dont la largeur est supérieure à la largeur du logement 20 des semelles 15 des premiers renforts d'onde 11 et une deuxième portion 56 dont la largeur est inférieure, de
20 préférence légèrement inférieure, à la largeur du logement 20. Ainsi, l'épaulement 54 forme une surface de butée limitant l'insertion des premières pattes 28 dans le logement 20. Comme illustré sur la figure 20, les premières pattes 28 sont insérées dans les logements 20 des semelles 15 des premiers renforts d'ondes 11 jusqu'à ce que les épaulements 54 viennent en butée contre la face d'extrémité 46 desdits
25 premiers renforts d'ondes 11.

La figure 22 illustre un treillis 56 de renforts d'ondes 11, 12, 43, 45 selon une variante de réalisation de la figure 15. Cette variante se distingue de celle illustrée sur la figure 15 en ce que, pour le montage des renforts d'onde 11, 12, 43, 45 sur la barrière thermiquement isolante 2, la plaque métallique 42 est remplacée par un
30 cadre de montage 57. Ce cadre de montage 57 illustré schématiquement sur la figure 22 comporte des excroissances 58 logées dans les demis-renforts d'ondes 43 et 45. Ces excroissances 58 permettent le maintien des demis-renforts d'ondes 43 et 45 de

façon analogue aux clips de maintien 44 de façon à maintenir solidaires le treillis 56 constitué par les différents renforts d'ondes 11, 12, les demis-renforts d'onde 43, 45, les organes de liaison 13 et les entretoises rapportées 47. Ainsi, les renforts d'ondes 11, 12, 43, 45 peuvent être positionnés sur la barrière thermiquement isolante 2 par
5 blocs, chaque bloc étant constitué d'un treillis 56 sur lequel est par la suite rapportée une plaque métallique ondulée 42 de la membrane d'étanchéité 1.

La figure 23 illustre un demi-renfort d'onde 43 en vue de dessous selon un mode de réalisation. Sur cette figure, seul un demi-renfort d'onde 43 situé sous une ondulation haute 3 est illustré, la description ci-dessous s'appliquant par analogie aux
10 demi-renforts d'onde 45 situés sous les ondulations basses 4.

Dans ce mode de réalisation, la semelle 15 des demi-renforts d'ondes 43 est au moins partiellement ouverte sur la face inférieure desdits demi-renforts d'ondes 43. Autrement dit, la semelle 15 de ces demis-renforts d'ondes 43 présente une extrémité opposée à l'organe de liaison 13 dont la paroi inférieure 17 ne se développe
15 pas jusqu'au bord opposé audit organe de liaison 13. Ainsi, lesdits demi-renforts d'onde 43 forment un logement ouvert 59 dans lequel est logé un manchon de liaison 60 destinés à lier deux demi-renforts d'ondes 43 adjacents appartenant à deux treillis 56 adjacents. Ce logement ouvert 59 est ainsi délimité par la paroi supérieure 19 et les parois de renforts 21 de la semelle 15 du demi-renfort d'onde 43. Le manchon de
20 liaison 60 présente une forme complémentaire de la forme du logement ouvert 59, par exemple une forme parallélipédique.

Typiquement, lorsqu'un premier treillis 56 est positionné sur la barrière thermiquement isolante 2, un manchon 60 est inséré dans le logement ouvert 59 de chacun des demis-renforts d'onde 43 dudit premier treillis 56. Lorsqu'un deuxième
25 treillis 56 est rapporté sur la barrière thermiquement isolante 2, les demis renforts d'onde 43 peuvent être positionnés directement en logeant les manchons 60 préalablement installés sur la barrière thermiquement isolante 2 dans les logements ouverts 59 des demis-renforts d'ondes 43 de ce deuxième treillis 56. De tels manchons de liaison 60 permettent d'assurer la continuité des renforts d'onde sous
30 les ondulations 3, 4.

En outre, les logements ouverts 59 peuvent présenter une longueur supérieure à la longueur d'un demi manchon de liaison 60 de manière à ménager un

jeu de positionnement des manchons de liaison 60 dans les logements ouverts 59. De tels jeux de positionnement permettent de rattraper d'éventuels jeux d'assemblage des plaques métalliques de la membrane d'étanchéité, en particulier lors du positionnement de la dernière plaque métallique de la membrane d'étanchéité

5 1.

De tels demis-renforts d'ondes 43, 45 assemblés par des manchons de liaison 60 offrent en outre une plus grande flexibilité pour les réparations éventuelles de la membrane d'étanchéité et/des renforts d'ondes 11, 12, 43, 45, seule la portion endommagée devant être retirée pour la réparation.

10 Dans une variante non illustrée, seul l'un des deux demi-renforts d'onde 43 ou 45 assemblés par un manchon de liaison 60 présente le logement ouvert 59, ledit manchon de liaison étant coulissé dans l'autre demi-renfort d'onde de ladite paire.

Les figures 24 et 25 sont des vues en coupe de renforts d'ondes selon des variantes de réalisation. Dans ces variantes, les éléments identiques ou remplissant

15 la même fonction portent les mêmes références.

Dans ces variantes illustrées sur les figures 24 et 25, la semelle 15 du premier renfort d'onde 11 ne comporte pas de paroi supérieure 19. Autrement dit, le logement 20 est ouvert sur le dessus, ledit logement étant délimité par les parois latérales 18 et la paroi inférieure 17.

20 Par ailleurs, ces premiers renforts d'ondes 11 comportent deux voiles internes 23 tels que décrits ci-dessus en regard des figures 4, 7 ou 9. Une paroi verticale interne 64 fait saillie verticalement depuis une intersection 65 entre les voiles internes 23 en direction de la paroi inférieure 17. Une face inférieure 63 de cette paroi verticale interne 64 est plane et parallèle à la paroi inférieure 17. Cette face inférieure

25 63 délimite, conjointement avec la paroi inférieure 17 et les parois latérales 18 le logement 20 dans lequel est logé l'extrémité 28 de l'organe de liaison 13.

Les différentes variantes décrites ci-dessus sont combinables entre elles. Ainsi, dans un exemple illustré sur la figure 25, l'organe de liaison 13 est un organe de liaison 13 tel que décrit ci-dessus en regard des figures 20 et 21. Les extrémités

30 28 de cet organe de liaison 13 traversent des entretoises rapportées 47 telles que décrites en regard des figures 17 et 18, les épaulements 54 étant en appui contre

lesdites entretoises rapportées 47. Ces entretoises rapportées sont en outre associées à des premiers et deuxièmes renforts d'onde 11, 12 tels que décrits en regard des figures 24 et 25.

Comme illustré sur cette figure 26, les extrémités 28 et les pattes 34 de
5 l'organe de liaison sont logées dans les semelles 15 des renforts d'ondes 11, 12 correspondant de sorte que les faces inférieures 63 des parois verticales internes 64 soient en contact avec la face supérieure desdites extrémités 28 et pattes 34.

La figure 27 illustre un renfort d'onde 11, 12 selon une variante de réalisation. Sur cette figure 27, les éléments identiques ou remplissant la même fonction que des
10 éléments décrits ci-dessus portent la même référence. En outre, la description ci-dessous au regard des figures 27 et 28 s'applique indifféremment aux premiers renforts d'ondes 11 et/ou aux deuxièmes renforts d'ondes 12.

Dans la variante illustrée sur la figure 27, la paroi supérieure de la semelle 15 n'est pas continue entre les faces latérales 18 de ladite semelle 15. Plus
15 particulièrement, cette paroi supérieure est formée de deux portions latérales 66. Chacune de ces portions latérales 66 se développe parallèlement à la paroi inférieure 17. Ces portions latérales 66 se développent depuis une paroi latérale 18 respective en direction de l'autre paroi latérale 18. Ainsi, de façon analogue aux renforts décrits ci-dessus en regard des figures 24 et 25, le logement 20 de la semelle 15 de cette
20 variante de réalisation est ouvert sur le dessus, c'est-à-dire sur la portion de renfort 16.

Les portions latérales 66 présentent chacune une face inférieure 67 tournée vers la paroi inférieure 17, lesdites face inférieures 67 délimitant conjointement avec les parois latérales 18 et la paroi inférieure 17 le logement 20 dans lequel est logé
25 l'extrémité 28 ou la patte 34. Le logement 20 présente ainsi une section plane s'étendant parallèlement à la paroi inférieure 17, c'est-à-dire présentant une dimension de largeur supérieure à sa dimension d'épaisseur, permettant une coopération avec l'extrémité 28 ou la patte 34 présentant une section similaire et apte à transmettre les contraintes latérales entre l'organe de liaison 13 et le renfort d'onde
30 11, 12. Ainsi, en présence de contraintes dissymétriques de part et d'autre du nœud 5, un tel organe de liaison 13 offre une rigidité qui maintient solidement l'alignement

entre deux renforts d'ondes 11, 12 successifs logés sous une ondulation 3, 4 et assemblés par ledit organe de liaison 13.

Par ailleurs, le renfort d'onde 11, 12 dans cette variante comporte deux voiles internes 23 tels que décrits ci-dessus. Chaque voile interne 23 se développe entre
5 une portion latérale 66 respective et la face interne de la portion de renfort 22. Plus particulièrement, chaque voile interne 23 se développe depuis une extrémité 68 d'une portion latérale 66 respective, ladite extrémité 68 étant opposée à la paroi latérale 18 depuis laquelle se développe ladite portion latérale 66, en direction de la face interne de la paroi 22 de la portion de renfort 16 opposée, c'est-à-dire prolongeant la paroi
10 latérale 18 opposée à la paroi latérale 18 depuis laquelle se développe ladite portion latérale 66. Ces deux voiles internes 23 se croisent sensiblement au centre de la portion de renfort 16.

Dans le mode de réalisation illustré sur la figure 27, la semelle 15 présente des renforcements inférieurs 69 et des renforcements supérieurs 82.

15 Les renforcements inférieurs 69 se développent selon la direction d'épaisseur de la semelle 15 et sont creusés dans la paroi inférieure 17 au niveau des jonctions entre la paroi inférieure 17 et les parois latérales 18. De même, les renforcements supérieurs 82 se développent selon la direction d'épaisseur de la semelle 15 et sont ménagés dans les portions latérales 66 au niveau des jonctions
20 entre lesdites portions latérales 66 et les parois latérales 18.

De tels renforcements 69, 82 permettent de réaliser un ajustement précis qui se limite aux jeux de montage entre l'extrémité 28 ou la patte 34 et les surfaces délimitant logement 20. Ainsi, par exemple si les renforts d'ondes 11, 12 sont réalisés par extrusion ou moulage, les zones de jonction entre les parois latérales 18 et d'une
25 part la paroi inférieure 17 et, d'autre part, les portions latérales 66 ne présentent pas de portion incurvée pouvant encombrer le logement 20 et interférer avec l'extrémité 28 ou la patte 34 lors de l'insertion de ladite extrémité 28 ou patte 34 dans le logement 20.

Le mode de réalisation illustré sur la figure 28 diffère du mode de réalisation
30 illustré sur la figure 27 en ce que les renforcements 69, 82 sont creusés dans les parois latérales 18 et se développent donc selon une direction de largeur de la

semelle 15. Cependant ces renforcements 69, 82 remplissent la même fonction que ceux décrits ci-dessus en regard de la figure 27 en évitant la présence de zone d'angle incurvées par exemple dans le cas de renforts d'ondes 11, 12 réalisés par extrusion ou moulage.

- 5 Les figures 29 et 30 illustrent une variante de réalisation dans laquelle la paroi de cuve présente deux pans formant un angle entre eux, par exemple un angle de 167°. Les éléments identiques ou remplissant la même fonction que des éléments décrits ci-dessus portent la même référence.

- Dans cette variante de réalisation, des ondulations se développent
10 perpendiculairement à une arête 83 formée entre un premier pan 84 de la paroi de cuve et un deuxième pan 85 de ladite paroi de cuve. Par ailleurs, des ondulations se développent parallèlement à ladite arête 83. Plus particulièrement, dans l'exemple illustré sur la figure 29, une ondulation se développe le long de l'arête 83 et recouvre ladite arête 83. Dans l'exemple illustré sur ces figures, les ondulations hautes 3 se
15 développent perpendiculairement à l'arête 83 et une ondulation basse 4 recouvre l'arête 83, la description ci-dessous s'appliquant par analogie à une situation inverse.

Dans cette variante, un nœud 5 est donc formé au droit de l'arête 83. De même, une ondulation haute 3 est continue entre le premier pan 84 et le deuxième pan 85 de la paroi.

- 20 Dans le mode de réalisation illustré sur la figure 29, le nœud 5 ne présente pas de pli 7 et les portions longitudinales 6 de l'ondulation 11 conservent une section sensiblement continue jusqu'au plan d'intersection entre les pans 84, 85. Cependant, du fait de l'angle entre lesdits pans et de façon analogue aux nœuds décrits ci-dessus, ce nœud ne peut pas être traversé par un premier renfort d'onde 11. Dès lors, comme
25 pour les nœuds 5 décrits ci-dessus, il est nécessaire d'utiliser un organe de liaison 13 pour assurer une continuité de l'alignement entre les renforts d'ondes 11. Cette ondulation haute 3 présente donc des portions longitudinales 6 se développant selon une première direction longitudinale parallèlement au premier pan 84 et perpendiculairement à l'arête 83 et des portions longitudinales 6 se développant
30 parallèlement au deuxième pan 85 et perpendiculairement à l'arête 83.

Une telle ondulation haute 3 peut, comme expliqué ci-dessus, être sujette à des contraintes dissymétriques de part et d'autre du nœud 5 recouvrant l'arête 83. Il convient donc d'assurer l'alignement des renforts d'ondes 11 situés sur les deux pans 84, 85 de part et d'autre du nœud 5, c'est-à-dire de s'assurer que le renfort d'onde 11
5 situé sur le premier pan 84 et le renfort d'onde 11 situé sur le deuxième pan 85 conservent une direction longitudinale comprise dans un même plan perpendiculaire à l'arête 83.

Pour cela, l'organe de liaison 13 selon cette variante de réalisation diffère de l'organe de liaison décrit ci-dessus en regard par exemple des figures 11, 17 19 à 21
10 ou 26 en ce que les extrémités 28 forment un angle avec la portion centrale 27 dudit organe de liaison 13.

Plus particulièrement, la portion centrale 27 est plane et présente une section rectangulaire. Une première extrémité 28 se développe depuis un premier bord 86 de la section centrale 27 selon un angle correspondant à la moitié de l'angle entre les
15 deux pans 84, 85 de parois. Une deuxième extrémité 28 se développe depuis un deuxième bord 87 de la section centrale 27, opposé au premier bord 86, avec un angle correspondant à la moitié de l'angle entre les deux pans 84, 85 de parois. Autrement dit, les extrémités 28 se développent chacune depuis la portion centrale 27 plane et présentent entre elles un angle correspondant à l'angle entre les deux
20 pans 84, 85 de parois. Ainsi, la première extrémité 28 se développe parallèlement au premier pan 84 et la deuxième extrémité 28 se développe parallèlement au deuxième pan 85. La première extrémité 28 est insérée dans le logement 20 formé par la semelle 15 creuse du renfort d'onde 11 situé dans la portion longitudinale 6 d'ondulation formant le nœud 5 et située dans le premier pan 84 et la deuxième
25 extrémité 28 est insérée dans le logement 20 formé par la semelle 15 creuse du renfort d'onde 11 situé sous la portion longitudinale 6 d'ondulation formant le nœud 5 située dans le deuxième pan 85 de paroi.

De façon analogue aux extrémités 28 décrits ci-dessus en regard des figures 1 à 26, les extrémités 28 de cet organe de liaison 13 sont emboîtées avec un simple
30 jeu de montage afin d'assurer une bonne coopération entre lesdites extrémités 28 et la semelle 15 et ainsi conserver un alignement des renforts d'onde 11 par rapport aux contraintes latérales.

La technique décrite ci-dessus pour réaliser une cuve étanche et thermiquement isolante peut être utilisée dans différents types de réservoirs, par exemple pour constituer la membrane d'étanchéité primaire d'un réservoir de GNL dans une installation terrestre ou dans un ouvrage flottant comme un navire méthanier
5 ou autre.

En référence à la figure 16, une vue écorchée d'un navire méthanier 70 montre une cuve étanche et isolée 71 de forme générale prismatique montée dans la double coque 72 du navire. La paroi de la cuve 71 comporte une barrière étanche primaire destinée à être en contact avec le GNL contenu dans la cuve, une barrière
10 étanche secondaire agencée entre la barrière étanche primaire et la double coque 72 du navire, et deux barrières isolante agencées respectivement entre la barrière étanche primaire et la barrière étanche secondaire et entre la barrière étanche secondaire et la double coque 72.

De manière connue en soi, des canalisations de chargement/déchargement
15 73 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 71.

La figure 16 représente un exemple de terminal maritime comportant un poste de chargement et de déchargement 75, une conduite sous-marine 76 et une
20 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
25 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
30 le transfert du gaz liquéfié entre le poste de chargement ou de déchargement 75 et l'installation à terre 77 sur une grande distance, par exemple 5 km, ce qui permet de

garder le navire méthanier 70 à grande distance de la côte pendant les opérations de chargement et de déchargement.

Pour engendrer la pression nécessaire au transfert du gaz liquéfié, on met en œuvre des pompes embarquées dans le navire 70 et/ou des pompes équipant
5 l'installation à terre 77 et/ou des pompes équipant le poste de chargement et de déchargement 75.

Bien que l'invention ait été décrite en liaison avec plusieurs modes de réalisation particuliers, il est bien évident qu'elle n'y est nullement limitée et qu'elle comprend tous les équivalents techniques des moyens décrits ainsi que leurs
10 combinaisons si celles-ci entrent dans le cadre de l'invention.

L'usage du verbe « comporter », « comprendre » ou « inclure » et de ses formes conjuguées n'exclut pas la présence d'autres éléments ou d'autres étapes que ceux énoncés dans une revendication.

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