

Cuve étanche et thermiquement isolante à plusieurs zones

Domaine technique

L'invention se rapporte au domaine des cuves, étanches et thermiquement isolantes, à membranes, pour le stockage et/ou le transport de fluide, tel qu'un fluide cryogénique.

Des cuves étanches et thermiquement isolantes à membranes sont notamment employées pour le stockage de gaz naturel liquéfié (GNL), qui est stocké, à pression atmosphérique, à environ -163°C. 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 naturel liquéfié ou à recevoir du gaz naturel liquéfié servant de carburant pour la propulsion de l'ouvrage flottant.

Arrière-plan technologique

Dans l'état de la technique, il est connu des cuves étanches et thermiquement isolantes pour le stockage de gaz naturel liquéfié, intégrées dans une structure porteuse, telle que la double coque d'un navire destiné au transport de gaz naturel liquéfié. Généralement, de telles cuves comportent une structure multicouche présentant successivement, dans le sens de l'épaisseur depuis l'extérieur vers l'intérieur de la cuve, une barrière d'isolation thermique secondaire retenue à la structure porteuse, une membrane d'étanchéité secondaire reposant contre la barrière d'isolation thermique secondaire, une barrière d'isolation thermique primaire reposant contre la membrane d'étanchéité secondaire et une membrane d'étanchéité primaire reposant contre la barrière d'isolation thermique primaire et destinée à être en contact avec le gaz naturel liquéfié contenu dans la cuve.

Le document FR2867831 décrit une cuve étanche et thermiquement isolante comportant une barrière d'isolation thermique formée de caissons isolants juxtaposés. Ces caissons présentent une plaque de couvercle et une plaque de fond maintenues à distance par des plaques d'entretoises porteuses et des cotés desdits caissons. Ces caissons isolants sont remplis de garniture isolante et forment une surface de support sensiblement plane pour supporter une membrane étanche de la cuve. De tels caissons isolants présentent une résistance importante aux

contraintes dans la cuve mais les plaques d'entretoises porteuses et les côtés des caissons forment des zones de plus forte conductivité thermique limitant les propriétés d'isolation thermique desdits caissons.

Le document WO2013124556 décrit une cuve étanche et thermiquement isolante dans laquelle une barrière d'isolation thermique est formée d'une pluralité de blocs isolants juxtaposés. Ces blocs isolants comportent successivement selon une direction d'épaisseur de la paroi de cuve une plaque de fond, une mousse isolante structurelle inférieure, une plaque intermédiaire, une mousse isolante structurelle supérieure et une plaque de couvercle. Dans ces blocs isolants, les plaques sont maintenues à distance les unes des autres selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve par la mousse isolante structurelle.

Résumé

Une idée à la base de l'invention est de réaliser une cuve étanche et thermiquement isolante en mariant plusieurs types d'isolation de natures et/ou structures différentes tout en conservant une membrane étanche portée de manière sensiblement uniforme et continue.

Ainsi, une idée à la base de l'invention est de gérer les phénomènes de variation d'épaisseur entre des zones de la cuve présentant des comportements différents. Pour cela, une idée à la base de l'invention est de créer une transition douce entre des modules isolants d'une première zone présentant un premier comportement opérationnel dans l'épaisseur et des modules isolants d'une deuxième zone présentant un deuxième comportement opérationnel dans l'épaisseur lorsqu'ils sont soumis à des variations de pression et/ou de température générant un différentiel d'épaisseur dans la paroi de cuve.

Selon un mode de réalisation, l'invention fournit une cuve étanche et thermiquement isolante de stockage d'un fluide intégrée dans une structure porteuse, dans laquelle une paroi de cuve comporte dans une direction d'épaisseur :

une barrière thermiquement isolante secondaire et une barrière thermiquement isolante primaire constituées de modules isolants juxtaposés, un module isolant comportant un panneau de couvercle, un panneau de fond et une garniture isolante intercalée entre le panneau de fond et le panneau de couvercle,

une membrane étanche primaire reposant sur la barrière thermiquement isolante primaire, et

une membrane étanche secondaire reposant sur la barrière thermiquement isolante secondaire,

5 la paroi de cuve comportant dans une direction de longueur :

- une première zone dans laquelle les modules isolants comportent des entretoises se développant selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve entre le panneau de couvercle et le panneau de fond desdits modules isolants, lesdites entretoises étant distribuées sur la surface du panneau de couvercle et
10 du panneau de fond de sorte que le panneau de fond et le panneau de couvercle desdits modules isolants sont maintenus à distance l'un de l'autre par lesdites entretoises,
- une deuxième zone dans laquelle la garniture isolante des modules isolants comporte une mousse isolante structurale intercalée entre le panneau de
15 couvercle et le panneau de fond sur la surface du panneau de couvercle et du panneau de fond de sorte que le panneau de couvercle desdits modules isolants est maintenu à distance du panneau de fond par ladite mousse isolante structurale,
- une zone de transition intercalée entre la première zone et la deuxième zone,
20 dans laquelle les modules isolants sont constitués de manière que la paroi de cuve dans ladite zone de transition présente au moins un paramètre choisi parmi le coefficient de contraction thermique et le module d'élasticité dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve dont la valeur est comprise entre la valeur dudit au moins un paramètre de la première zone de la paroi de cuve
25 dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve et la valeur dudit au moins un paramètre de la deuxième zone de la paroi de cuve dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve.

Une idée à la base de l'invention est que le comportement opérationnel de la paroi de cuve dans la direction d'épaisseur peut être essentiellement caractérisé
30 par deux propriétés physiques qui sont le coefficient de contraction thermique, qui qualifie la réponse de la paroi de cuve aux variations de température, et le module d'élasticité dans la direction d'épaisseur qui qualifie la réponse de la paroi de cuve aux pressions.

Selon un mode de réalisation, la valeur dudit au moins un paramètre selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve des modules isolants de la première zone est substantiellement déterminé par la valeur dudit au moins un paramètre selon ladite direction d'épaisseur des entretoises, du panneau de fond et du
5 panneau de couvercle. En d'autres termes, le comportement opérationnel en contraction dans l'épaisseur, déterminé par au moins un paramètre choisi parmi le coefficient de contraction thermique et le module élastique dans l'épaisseur, d'un module isolant comportant des entretoises distribuées sur la surface du panneau de couvercle et du panneau de fond est principalement déterminé par le comportement
10 en contraction opérationnel dans l'épaisseur des entretoises porteuses, des panneaux de couvercle et des panneaux de fond.

Selon un mode de réalisation, la valeur dudit au moins un paramètre selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve des modules isolants de la deuxième zone est substantiellement déterminé par la valeur dudit au moins un paramètre
15 selon ladite direction d'épaisseur de la mousse isolante structurelle, du panneau de fond et du panneau de couvercle. En d'autres termes, le comportement en contraction opérationnel dans l'épaisseur, déterminé par au moins un paramètre choisi parmi le coefficient de contraction thermique et le module élastique dans l'épaisseur, d'un module isolant comportant une mousse isolante structurelle
20 distribuée sur la surface du panneau de couvercle et du panneau de fond est principalement déterminé par le comportement en contraction opérationnel dans l'épaisseur de la mousse isolante structurelle et des panneaux de couvercle et de fond. Ainsi, les caractéristiques telles que le coefficient de contraction thermique et le module d'élasticité dans l'épaisseur ne sont pas les mêmes pour ces différents
25 modules isolants.

La cuve étanche et thermiquement isolante selon l'invention permet avantageusement de limiter la présence de marches entre les barrières thermiquement isolantes desdites zones grâce à la présence d'une zone de transition entre la première zone et la deuxième zone de la paroi de cuve.

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

Selon un mode de réalisation, les modules isolants de la deuxième zone présentent un coefficient de contraction thermique dans le sens de l'épaisseur de la

paroi de la cuve plus élevé que le coefficient de contraction thermique des modules isolants de la première zone dans le sens de l'épaisseur de la paroi de la cuve.

Selon un mode de réalisation, les modules isolants de la zone de transition sont constitués de manière que la paroi de cuve dans ladite zone de transition
5 présente un coefficient de contraction thermique dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve compris entre le coefficient de contraction thermique de la première zone de la paroi de cuve dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve et le coefficient de contraction thermique de la deuxième zone de la paroi de cuve dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve.

10 Selon un mode de réalisation, les modules isolants de la première zone présentent un module d'élasticité dans le sens de l'épaisseur de la paroi de la cuve plus élevé que le module d'élasticité des modules isolants de la deuxième zone dans le sens de l'épaisseur de la paroi de la cuve.

Selon un mode de réalisation, les modules isolants de la zone de transition
15 sont constitués de manière que la paroi de cuve dans ladite zone de transition présente un module d'élasticité dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve compris entre le module d'élasticité de la première zone de la paroi de cuve dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve et le module d'élasticité de la deuxième zone de la paroi de cuve dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve.

20 Selon un mode de réalisation, la première zone correspond à une zone de la paroi de cuve fortement sollicitée et la deuxième zone correspond à une zone de la paroi de cuve moins sollicitée. Selon un mode de réalisation, la première zone de la paroi de cuve est une zone dans laquelle la ou les membranes étanches sont fixes par rapport à la structure porteuse. Selon un mode de réalisation, la première
25 zone est une zone de la paroi de cuve dans laquelle au moins membrane étanche est ancrée sur la structure porteuse. Selon un mode de réalisation, la première zone est, par exemple, une zone d'angle de la cuve, un dôme gaz, un dôme liquide ou encore une zone de fixation d'un pied de support pour une pompe. Selon un mode de réalisation, la deuxième zone est située dans une portion centrale de la paroi de
30 cuve.

Grâce à ces caractéristiques, la cuve étanche et thermiquement isolante selon l'invention permet avantageusement de présenter de bonnes caractéristiques

de résistance aux contraintes dans les zones fortement sollicitées et de bonnes caractéristiques d'isolation.

Selon des modes de réalisation, les entretoises des modules isolants de la première zone peuvent être réalisées de nombreuses manières.

- 5 Selon un mode de réalisation, les entretoises des modules isolants de la première zone forment des côtés desdits modules isolants de sorte que lesdits modules isolants sont des caissons présentant un ou plusieurs espaces internes délimités par les entretoises, le panneau de fond et le panneau de couvercle. Selon un mode de réalisation, la garniture isolante est agencée dans le ou lesdits espaces
- 10 internes. Selon un mode de réalisation, les entretoises des modules isolants de la première zone comportent des piliers porteurs agencés entre le panneau de fond et le panneau de couvercle. Selon un mode de réalisation, les entretoises des modules isolants de la première zone comportent des plaques entretoises se développant entre le panneau de fond et le panneau de couvercle. Selon un mode de réalisation,
- 15 les entretoises comportent des entretoises telles que ci-dessus en combinaison entre le panneau de fond et le panneau de couvercle des modules.

Selon un mode de réalisation, la garniture isolante des modules isolants de la première zone est une garniture isolante non porteuse ou non structurelle telle que de la perlite, de la laine de verre, des aérogels ou autres voire leurs mélanges.

- 20 Selon un mode de réalisation, la garniture isolante agencée dans le ou les espaces internes des caissons est une garniture isolante non structurelle telle que de la perlite, de la laine de verre, des aérogels ou autres voire leurs mélanges.

- Selon un mode de réalisation, la mousse isolante structurelle est une mousse de polyuréthane. Selon un mode de réalisation, cette mousse isolante
- 25 structurelle est une mousse haute densité, par exemple avec une densité supérieure à 100 Kg/m^3 , de préférence supérieure ou égale à 120 Kg/m^3 , notamment égale à 210 Kg/m^3 .

- Selon un mode de réalisation, la mousse isolante structurelle est une mousse renforcée, par exemple renforcée par des fibres telles que des fibres de
- 30 verre.

Selon un mode de réalisation, le panneau de fond est un panneau de contreplaqué. Selon un mode de réalisation, le panneau de couvercle est un panneau de contreplaqué.

5 Selon un mode de réalisation, les entretoises se développent aussi avec une composante dans un plan perpendiculaire à la direction d'épaisseur de la paroi de cuve, c'est-à-dire selon une direction oblique par rapport à la direction d'épaisseur.

Selon un mode de réalisation, la première zone est agencée sur tout ou partie d'un pourtour de la paroi.

10 Selon un mode de réalisation, les modules isolants de la zone de transition comportent

- 15 - un premier module isolant agencé dans la barrière thermiquement isolante secondaire, le premier module isolant présentant une première valeur dudit au moins un paramètre selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve, et
- 20 - un deuxième module isolant agencé dans la barrière thermiquement isolante primaire, le deuxième module isolant présentant une deuxième valeur dudit au moins un paramètre selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve, le premier module isolant et le deuxième module isolant étant superposés dans le sens de l'épaisseur de la paroi de cuve.

Grâce à ces caractéristiques, la cuve est simple à réaliser. En effet, la zone de transition peut être réalisée à l'aide de modules isolants standardisés qui peuvent être intégrés de façon simple aux barrières thermiquement isolantes. En
25 outre, la différence de valeur dudit au moins un paramètre entre la zone de transition et les première et deuxième zones de la paroi de cuve est simple à réaliser, cette différence de valeur dudit au moins un paramètre résultant simplement de la superposition de deux modules isolants distincts. En particulier, il est possible de superposer un module isolant de la première zone et un module
30 isolant de la deuxième zone pour former la zone de transition.

Selon un mode de réalisation, le coefficient de contraction thermique du premier module isolant selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve est

compris entre le coefficient de contraction thermique selon ladite direction d'épaisseur des modules isolants de la barrière thermiquement isolante secondaire de la première zone et le coefficient de contraction thermique selon ladite direction d'épaisseur des modules isolants de la barrière thermiquement isolante secondaire de la deuxième zone inclus.

Selon un mode de réalisation, le module d'élasticité du premier module isolant selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve est compris entre le module d'élasticité selon ladite direction d'épaisseur des modules isolants de la barrière thermiquement isolante secondaire de la première zone et le module d'élasticité selon ladite direction d'épaisseur des modules isolants de la barrière thermiquement isolante secondaire de la deuxième zone inclus.

Selon un mode de réalisation, le coefficient de contraction thermique du premier module isolant selon ladite direction d'épaisseur est égal au coefficient de contraction thermique selon ladite direction d'épaisseur des modules isolants de la première zone.

Selon un mode de réalisation, le module d'élasticité du premier module isolant selon ladite direction d'épaisseur est égal au module d'élasticité selon ladite direction d'épaisseur des modules isolants de la première zone.

Selon un mode de réalisation, le coefficient de contraction thermique selon ladite direction d'épaisseur du premier module isolant est supérieur au coefficient de contraction thermique selon ladite direction d'épaisseur des modules isolants de la première zone.

Selon un mode de réalisation, le module d'élasticité selon ladite direction d'épaisseur du premier module isolant est inférieur au module d'élasticité selon ladite direction d'épaisseur des modules isolants de la première zone.

Selon un mode de réalisation, le coefficient de contraction thermique du deuxième module isolant selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve est compris entre le coefficient de contraction thermique selon ladite direction d'épaisseur des modules isolants de la barrière thermiquement isolante primaire de la première zone et le coefficient de contraction thermique selon ladite direction d'épaisseur des modules isolants de la barrière thermiquement isolante primaire de la deuxième zone inclus.

Selon un mode de réalisation, le module d'élasticité du deuxième module isolant selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve est compris entre le module d'élasticité selon ladite direction d'épaisseur des modules isolants de la barrière thermiquement isolante primaire de la première zone et le module d'élasticité selon
5 ladite direction d'épaisseur des modules isolants de la barrière thermiquement isolante primaire de la deuxième zone inclus.

Selon un mode de réalisation, le coefficient de contraction thermique du deuxième module isolant selon ladite direction d'épaisseur est égal au coefficient de contraction thermique selon ladite direction d'épaisseur des modules isolants de la
10 deuxième zone.

Selon un mode de réalisation, le module d'élasticité du deuxième module isolant selon ladite direction d'épaisseur est égal au module d'élasticité selon ladite direction d'épaisseur des modules isolants de la deuxième zone.

Selon un mode de réalisation, le coefficient de contraction thermique selon
15 ladite direction d'épaisseur du deuxième module isolant est inférieur au coefficient de contraction thermique selon ladite direction d'épaisseur des modules isolants de la deuxième zone.

Selon un mode de réalisation, le module d'élasticité selon ladite direction d'épaisseur du deuxième module isolant est supérieur au module d'élasticité selon
20 ladite direction d'épaisseur des modules isolants de la deuxième zone.

Selon un mode de réalisation, le coefficient de contraction thermique selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve du premier module isolant est inférieur au coefficient de contraction thermique selon ladite direction d'épaisseur du deuxième module isolant.

25 Selon un mode de réalisation, le module d'élasticité selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve du premier module isolant est supérieur au module d'élasticité selon ladite direction d'épaisseur du deuxième module isolant.

Selon un mode de réalisation :

- l'un parmi le premier module isolant et le deuxième module isolant
30 comporte des entretoises se développant selon une direction d'épaisseur de la paroi de cuve entre le panneau de couvercle et le panneau de fond dudit module isolant, lesdites entretoises étant

distribuées sur la surface du panneau de fond et du panneau de couvercle de sorte que le panneau de fond et le panneau de couvercle dudit module isolant sont maintenus à distance l'un de l'autre par lesdites entretoises, et

- 5 - l'autre parmi le premier module isolant et le deuxième module isolant comporte une mousse isolante structurelle intercalée entre le panneau de couvercle et le panneau de fond sur la surface du panneau de couvercle et du panneau de fond de sorte que le
- 10 panneau de couvercle dudit autre module isolant est maintenu à distance du panneau de fond dudit autre module isolant par ladite mousse isolante structurelle.

Grâce à ces caractéristiques, les modules isolants de la zone de transition présentent des structures analogues aux modules isolants des première et deuxième zones. Ainsi, les modules isolants de la zone de transition sont simples à

15 fabriquer et ne nécessitent pas l'utilisation de modules isolants ayant une structure distincte de ceux des autres zones de la paroi de cuve. Les modules isolants utilisés pour fabriquer la paroi de cuve peuvent ainsi être standardisés pour les différentes zones de la paroi de cuve.

Selon un mode de réalisation, le premier module isolant est identique aux

20 modules isolants de la deuxième zone, par exemple identique aux modules isolants de la barrière thermiquement isolante primaire ou de la barrière thermiquement isolante secondaire de la deuxième zone de la paroi de cuve.

Selon un mode de réalisation, le deuxième module est identique aux modules isolants de la première zone, par exemple identique aux modules isolants

25 de la barrière thermiquement isolante primaire ou de la barrière thermiquement isolante secondaire de la première zone de la paroi de cuve.

Selon un mode de réalisation, ledit autre parmi le premier module isolant et le deuxième module isolant se développe conjointement dans la zone de transition et dans la deuxième zone de la paroi de cuve.

30 Selon un mode de réalisation, ledit autre parmi le premier module isolant et le deuxième module isolant est un module isolant de la barrière thermiquement isolante primaire. Autrement dit, ledit autre parmi le premier module isolant et le deuxième module isolant est le deuxième module isolant.

Selon un mode de réalisation, ledit un parmi le premier module isolant et le deuxième module isolant se développe conjointement dans la zone de transition et dans la première zone de la paroi de cuve.

5 Selon un mode de réalisation, ledit un parmi le premier module isolant et le deuxième module isolant est un module isolant de la barrière thermiquement isolante secondaire. Autrement dit, ledit un parmi le premier module isolant et le deuxième module isolant est le premier module isolant.

10 Selon un mode de réalisation, la valeur dudit au moins un paramètre de l'autre parmi le premier module isolant et le deuxième module isolant est inférieure à la valeur dudit au moins un paramètre de l'un parmi le premier module isolant et le deuxième module isolant.

15 Selon un mode de réalisation, la première zone correspond à une zone d'angle de la cuve comprenant un anneau de raccordement, et la zone transition est directement adjacente à l'anneau de raccordement, et dans laquelle le deuxième module isolant comporte une mousse isolante structurelle intercalée entre le panneau de couvercle et le panneau de fond sur la surface du panneau de couvercle et du panneau de fond de sorte que le panneau de couvercle dudit autre module isolant est maintenu à distance du panneau de fond dudit autre module isolant par ladite mousse isolante structurelle.

20 Selon un mode de réalisation, le premier module isolant comporte des entretoises se développant selon une direction d'épaisseur de la paroi de cuve entre le panneau de couvercle et le panneau de fond dudit module isolant, lesdites entretoises étant distribuées sur la surface du panneau de fond et du panneau de couvercle de sorte que le panneau de fond et le panneau de couvercle dudit module isolant sont maintenus à distance l'un de l'autre par lesdites entretoises.

Selon un mode de réalisation, les modules isolants de la zone de transition comportent :

- un troisième module isolant agencé dans la barrière thermiquement isolante secondaire, le troisième module isolant étant plus proche de la deuxième zone que le premier module isolant et présentant une troisième valeur dudit au moins un paramètre selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve,
- un quatrième module isolant agencé dans la barrière thermiquement isolante primaire, le quatrième module isolant étant plus proche de la deuxième zone que le

deuxième module isolant et présentant une quatrième valeur dudit au moins un paramètre selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve,
et dans laquelle la troisième valeur dudit au moins un paramètre du troisième module isolant est comprise entre la première valeur dudit au moins un paramètre
5 du premier module isolant et la deuxième valeur dudit au moins un paramètre du deuxième module isolant.

Selon un mode de réalisation, le troisième module isolant est un module mixte comportant un panneau intermédiaire agencé entre le panneau de fond et le panneau de couvercle, la garniture isolante comportant une garniture inférieure
10 agencée entre le panneau intermédiaire et le panneau de fond et une garniture supérieure agencée entre le panneau intermédiaire et le panneau de couvercle, le module mixte ayant un coefficient de dilatation thermique compris entre le coefficient de dilatation thermique d'un module isolant de la première zone et le coefficient de dilatation thermique d'un module isolant de la deuxième zone.

15 Selon un mode de réalisation, le quatrième module isolant est identique au deuxième module isolant, de sorte que la quatrième valeur dudit au moins un paramètre est égale à la deuxième valeur dudit au moins un paramètre.

Selon un mode de réalisation, les modules isolants de la zone de transition comportent un troisième module isolant (agencé dans la barrière thermiquement
20 isolante secondaire, le troisième module isolant étant plus proche de la deuxième zone que le premier module isolant et présentant une troisième valeur dudit au moins un paramètre selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve, et dans laquelle le deuxième module isolant s'étend sur toute la longueur de la zone de transition dans barrière thermiquement isolante primaire, la troisième valeur dudit au
25 moins un paramètre du troisième module isolant étant comprise entre la première valeur dudit au moins un paramètre du premier module isolant et la deuxième valeur dudit au moins un paramètre du deuxième module isolant.

Selon un mode de réalisation, la zone de transition présente un coefficient de contraction thermique selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve
30 augmentant dans la direction de longueur de la paroi de cuve depuis la première zone en direction de la deuxième zone de la paroi de cuve.

Selon un mode de réalisation, la zone de transition présente un module d'élasticité selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve diminuant dans la

direction de longueur de la paroi de cuve depuis la première zone en direction de la deuxième zone de la paroi de cuve.

Selon un mode de réalisation, la barrière thermiquement isolante primaire et la barrière thermiquement isolante secondaire comportent une pluralité de
5 modules isolants dans la zone de transition.

Selon un mode de réalisation, les modules isolants de la barrière thermiquement isolante primaire et/ou de la barrière thermiquement isolante secondaire situés dans la zone de transition présentent des coefficients de contraction thermique selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve distincts.

10 Selon un mode de réalisation, les modules isolants de la barrière thermiquement isolante primaire et/ou de la barrière thermiquement isolante secondaire situés dans la zone de transition présentent des modules d'élasticité selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve distincts.

Selon un mode de réalisation, un module isolant situé dans la zone de
15 transition proche de la première zone présente un coefficient de contraction thermique selon ladite direction d'épaisseur inférieur au coefficient de contraction thermique selon ladite direction d'épaisseur d'un module isolant situé dans la zone de transition dans la même barrière thermiquement isolante et plus éloigné de la première zone.

20 Selon un mode de réalisation, un module isolant situé dans la zone de transition proche de la première zone présente un module d'élasticité selon ladite direction d'épaisseur supérieur au module d'élasticité selon ladite direction d'épaisseur d'un module isolant situé dans la zone de transition dans la même barrière thermiquement isolante et plus éloigné de la première zone.

25 Grâce à ces caractéristiques, la zone de transition subdivise en une pluralité de petites marches l'écart généré par la différence de comportement entre les modules isolants de la première zone et les modules isolants de la deuxième zone. Une telle subdivision permet de fournir une surface de support pour les membranes étanche présentant une planéité satisfaisante. En particulier, l'écart
30 entre la première zone et la deuxième zone est subdivisée en une pluralité de marches de petite amplitude, de telles marches de petite amplitude ne dégradant pas les performances et la durée de vie des membranes étanches. En outre, une

telle zone de transition utilisant des modules isolants distincts pour réaliser une pente douce est simple à réaliser.

Selon un mode de réalisation, le coefficient de contraction thermique selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve dans la zone de transition augmente de façon continument progressive depuis la première zone en direction de la deuxième zone.

Selon un mode de réalisation, le module d'élasticité selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve dans la zone de transition diminue de façon continument progressive depuis la première zone en direction de la deuxième zone.

10 Selon un mode de réalisation, un module isolant de la zone de transition comporte une mousse isolante structurelle intercalée entre le panneau de couvercle et le panneau de fond sur la surface du panneau de couvercle et du panneau de fond dudit module isolant de sorte que le panneau de couvercle dudit module isolant est maintenu à distance du panneau de fond dudit module isolant par ladite mousse
15 isolante structurelle, ladite mousse isolante structurelle présentant un coefficient de contraction thermique selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve plus faible que le coefficient de contraction thermique selon ladite direction d'épaisseur de la mousse isolante structurelle de la deuxième zone.

Selon un mode de réalisation, la mousse isolante structurelle dudit module
20 isolant de la zone de transition comporte une première portion de mousse isolante structurelle et une deuxième portion de mousse isolante structurelle, la première portion de mousse isolante structurelle étant plus proche de la première zone que la deuxième portion de mousse structurelle, la première portion de mousse isolante structurelle présentant un coefficient de contraction thermique selon la direction
25 d'épaisseur de la cuve inférieur au coefficient de contraction thermique de la deuxième portion de mousse isolante structurelle selon ladite direction d'épaisseur.

Selon un mode de réalisation, un module isolant de la zone de transition comporte une mousse isolante structurelle intercalée entre le panneau de couvercle et le panneau de fond sur la surface du panneau de couvercle et du panneau de
30 fond dudit module isolant de sorte que le panneau de couvercle dudit module isolant est maintenu à distance du panneau de fond dudit module isolant par ladite mousse isolante structurelle, ladite mousse isolante structurelle présentant un module d'élasticité selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve plus important que le

module d'élasticité selon ladite direction d'épaisseur de la mousse isolante structurelle de la deuxième zone.

Selon un mode de réalisation, la mousse isolante structurelle dudit module isolant de la zone de transition comporte une première portion de mousse isolante structurelle et une deuxième portion de mousse isolante structurelle, la première portion de mousse isolante structurelle étant plus proche de la première zone que la deuxième portion de mousse structurelle, la première portion de mousse isolante structurelle présentant un module d'élasticité selon la direction d'épaisseur de la cuve supérieur au module d'élasticité de la deuxième portion de mousse isolante structurelle selon ladite direction d'épaisseur.

Un tel module est simple à réaliser car il utilise des matériaux de même nature pour générer un changement progressif du coefficient de contraction thermique et/ou du module d'élasticité selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve.

Selon un mode de réalisation, la mousse isolante structurelle dudit module est une mousse de polyuréthane renforcée de fibre, la première portion de mousse isolante structurelle présentant une orientation des fibres selon une direction d'épaisseur de la paroi de cuve et la deuxième portion de mousse isolante structurelle présentant une orientation des fibres perpendiculaire à la direction d'épaisseur de la paroi de cuve.

Selon un mode de réalisation, l'épaisseur de la première portion diminue progressivement depuis la première zone en direction de la deuxième zone et l'épaisseur de la deuxième portion augmente progressivement depuis la première zone en direction de la deuxième zone.

Selon un mode de réalisation, les modules isolants de la zone de transition comportent un module mixte comportant un panneau intermédiaire agencé entre le panneau de fond et le panneau de couvercle, la garniture isolante comportant une garniture inférieure agencée entre le panneau intermédiaire et le panneau de fond et une garniture supérieure agencée entre le panneau intermédiaire et le panneau de couvercle.

Selon un mode de réalisation, le premier module isolant est un module mixte.

Selon un mode de réalisation, le module mixte comporte des entretoises porteuses se développant selon une direction d'épaisseur de la paroi de cuve entre le panneau intermédiaire et l'un parmi le panneau de fond et le panneau de couvercle, lesdites entretoises étant distribuées sur la surface du panneau

5 intermédiaire et dudit un parmi le panneau de fond et le panneau de couvercle de sorte que le panneau intermédiaire et ledit un parmi le panneau de fond et le panneau de couvercle sont maintenus à distance l'un de l'autre par lesdites entretoises porteuses,

Selon un mode de réalisation, la garniture isolante agencée entre le

10 panneau intermédiaire et l'autre parmi le panneau de fond et le panneau de couvercle comporte une mousse isolante structurelle distribuée sur la surface du panneau intermédiaire et dudit autre parmi le panneau de fond et le panneau de couvercle de sorte que le panneau intermédiaire et ledit autre parmi le panneau de fond et le panneau de couvercle sont maintenus à distance par ladite mousse

15 isolante structurelle.

Selon un mode de réalisation, le panneau intermédiaire se développe dans un plan incliné par rapport au panneau de fond et au panneau de couvercle. Ainsi, le coefficient de contraction thermique du module mixte augmente progressivement dans la direction de longueur de la paroi de cuve depuis la première zone de la

20 paroi de cuve en direction de la deuxième zone de la paroi de cuve et/ou le module d'élasticité du module mixte diminue progressivement dans la direction de longueur de la paroi de cuve depuis la première zone de la paroi de cuve en direction de la deuxième zone de la paroi de cuve.

Ainsi, le module mixte présente un coefficient de contraction thermique

25 selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve augmentant progressivement depuis la première zone en direction de la deuxième zone de la paroi de cuve et/ou un module d'élasticité selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve diminuant progressivement depuis la première zone en direction de la deuxième zone de la paroi de cuve .

30 Selon un mode de réalisation, le panneau intermédiaire est distant d'un bord du module mixte situé proche de l'une parmi la première zone et la deuxième zone.

Selon un mode de réalisation, le panneau intermédiaire est distant de l'un parmi le panneau de fond et le panneau de couvercle du module mixte.

Selon un mode de réalisation, les membranes étanches primaires et secondaires sont essentiellement constituées de bandes métalliques s'étendant
5 dans la direction de longueur et présentant des bords longitudinaux relevés, les bords relevés de deux bandes métalliques adjacentes étant soudés deux à deux de manière à former de soufflets de dilatation autorisant une déformation de la membrane étanche dans une direction perpendiculaire à la direction de longueur. Selon un mode de réalisation, les membranes d'étanchéité primaire et/ou
10 secondaire comporte des plaques métalliques ondulées.

Selon un mode de réalisation, l'angle de la cuve comporte une aile d'ancrage primaire et une aile d'ancrage secondaire, une première extrémité desdites ailes d'ancrage étant ancrée à la structure porteuse et une deuxième extrémité desdites ailes d'ancrage étant soudée de manière étanche à la membrane
15 d'étanchéité correspondante.

Selon un mode de réalisation, la membrane d'étanchéité primaire comporte des ondulations s'étendant perpendiculairement aux bords relevés et disposées au droit de la première zone.

Selon un mode de réalisation, la membrane étanche secondaire est
20 essentiellement constituée de bandes métalliques s'étendant dans la direction de longueur et présentant des bords longitudinaux relevés, les bords relevés de deux bandes métalliques adjacentes étant soudés deux à deux de manière à former de soufflets de dilatation autorisant une déformation de la membrane étanche dans une direction perpendiculaire à la direction de longueur, dans laquelle l'angle de la cuve
25 comporte une aile d'ancrage secondaire, une première extrémité de ladite aile d'ancrage étant ancrée à la structure porteuse et une deuxième extrémité de ladite aile d'ancrage étant soudée de manière étanche à la membrane d'étanchéité secondaire, et dans laquelle la membrane étanche primaire comporte des plaques métalliques ondulées.

30 Une telle cuve peut faire partie d'une installation de stockage terrestre, par exemple pour stocker du GNL ou être installée dans une structure flottante, côtière ou en eau profonde, notamment un navire méthanier, une unité flottante de

stockage et de regazéification (FSRU), une unité flottante de production et de stockage déportée (FPSO) et autres.

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

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.

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

Selon un mode de réalisation, l'invention fournit également un module isolant comportant un panneau de couvercle, un panneau de fond et une garniture isolante intercalée entre le panneau de fond et le panneau de couvercle, ledit module isolant comportant en outre un panneau intermédiaire agencé entre le
20 panneau de fond et le panneau de couvercle et séparant le module isolant en une partie supérieure et une partie inférieure, la garniture isolante comportant une garniture inférieure agencée entre le panneau intermédiaire et le panneau de fond et une garniture supérieure agencée entre le panneau intermédiaire et le panneau de couvercle, ledit module isolant présentant au moins un paramètre choisi parmi le
25 coefficient de contraction thermique et le module d'élasticité dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve dont la valeur est distincte entre la partie supérieure du module isolant et la partie inférieure du module isolant.

Selon un mode de réalisation, ledit module isolant comporte des entretoises porteuses se développant selon une direction d'épaisseur de la paroi de
30 cuve entre le panneau intermédiaire et au moins l'un parmi le panneau de fond et le panneau de couvercle, lesdites entretoises étant distribuées sur la surface du panneau intermédiaire et dudit au moins un parmi le panneau de fond et le panneau de couvercle de sorte que le panneau intermédiaire et ledit au moins un parmi le

panneau de fond et le panneau de couvercle soient maintenus à distance l'un de l'autre par lesdites entretoises porteuses,

Selon un mode de réalisation, la garniture isolante agencée entre le panneau intermédiaire et au moins l'un parmi le panneau de fond et le panneau de
5 couvercle comportant une mousse isolante structurelle distribuée sur la surface du panneau intermédiaire et dudit au moins un parmi le panneau de fond et le panneau de couvercle de sorte que le panneau intermédiaire et ledit au moins un parmi le panneau de fond et le panneau de couvercle sont maintenus à distance par ladite mousse isolante structurelle.

10 Selon un mode de réalisation, le panneau intermédiaire se développe dans un plan incliné par rapport au panneau de fond et au panneau de couvercle.

Selon un mode de réalisation, l'une parmi la garniture supérieure et la garniture inférieure est une mousse de polyuréthane renforcée de fibre présentant une orientation des fibres selon une direction d'épaisseur de la paroi de cuve et
15 l'autre parmi la garniture inférieure et la garniture supérieure est une mousse de polyuréthane renforcée de fibre présentant une orientation des fibres perpendiculaire à la direction d'épaisseur de la paroi de cuve.

Selon un mode de réalisation, le panneau intermédiaire incliné est distant d'un bord du module isolant de sorte que la garniture inférieure ou la garniture
20 supérieure forme toute l'épaisseur de la garniture isolante du module isolant au niveau dudit bord. Ce mode de réalisation permet de réaliser ledit bord avec une résistance importante en évitant la présence d'une couche de garniture inférieure ou de garniture supérieure de faible épaisseur et pouvant se dégrader.

Selon un mode de réalisation, le côté du panneau intermédiaire incliné le
25 plus proche du panneau de fond est distant du panneau de fond. Ainsi, la garniture isolante est constituée par la seule garniture inférieure au niveau du panneau de fond, offrant ainsi une structure uniforme offrant avantageusement une bonne résistance mécanique par exemple pour la fixation d'un élément d'un organe d'ancrage sur le panneau de fond du module isolant.

30 **Brève description des figures**

L'invention sera mieux comprise, et d'autres buts, détails, caractéristiques et avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement au cours de la description

suivante de plusieurs modes de réalisation particuliers de l'invention, donnés uniquement à titre illustratif et non limitatif, en référence aux dessins annexés.

- 5 • La figure 1 est une représentation très schématique d'une paroi de cuve étanche et thermiquement isolante comportant deux zones structurellement distinctes dans deux états distincts de chargement de la cuve, à vide à température ambiante de 20°C et remplie de GNL à -163°C ;
- 10 • La figure 2 est une représentation schématique d'une paroi de cuve étanche et thermiquement isolante selon un mode de réalisation de l'invention comportant deux zones structurellement distinctes entre lesquelles est agencée une zone de transition dans deux états de chargement de la cuve, à vide à température ambiante de 20°C et remplie de GNL à -163°C ;
- 15 • La figure 3 est une représentation schématique d'une paroi de cuve étanche et thermiquement isolante selon un premier mode de réalisation de l'invention ;
- La figure 4 est une représentation schématique d'une paroi de cuve étanche et thermiquement isolante selon un deuxième mode de réalisation de l'invention ;
- 20 • La figure 5 est une représentation détaillée de la paroi de cuve étanche et thermiquement isolante selon le deuxième mode de réalisation ;
- Les figures 6 à 8 sont des représentations schématiques de parois de cuves étanches et thermiquement isolantes selon des variantes de réalisation d'un troisième mode de réalisation de l'invention ;
- 25 • La figure 9 est une représentation schématique d'une paroi de cuve étanche et thermiquement isolante selon un quatrième mode de réalisation de l'invention ;
- La figure 10 est une représentation détaillée de la paroi de cuve étanche et thermiquement isolante selon le quatrième mode de réalisation ;
- 30

- Les figures 11 et 12 sont des représentations schématiques de de parois de cuves étanches et thermiquement isolantes selon des variantes de réalisation d'un cinquième mode de réalisation de l'invention ;
- 5 • La figure 13 est une représentation détaillée de la paroi de cuve étanche et thermiquement isolante selon le cinquième mode de réalisation ;
- La figure 14 est une illustration d'un module isolant de la zone de transition de la figure 13 ;
- 10 • La figure 15 est une représentation schématique d'une paroi de cuve étanche et thermiquement isolante selon un sixième mode de réalisation de l'invention ;
- La figure 16 est une représentation détaillée de la paroi de cuve étanche et thermiquement isolante selon le sixième mode de réalisation ;
- 15 • La figure 17 est une illustration d'un module isolant de la zone de transition de la figure 16 ;
- La figure 18 est une représentation schématique d'une paroi transversale de cuve étanche et thermiquement isolante comportant une première zone, une zone de transition et une deuxième zone selon l'invention ;
- 20 • La figure 19 est une représentation schématique écorchée d'une cuve de navire méthanier et d'un terminal de chargement/déchargement de cette cuve.
- 25 • La figure 20 est une représentation détaillée de la paroi de cuve étanche et thermiquement isolante selon un septième mode de réalisation.

Description détaillée de modes de réalisation

En référence à la figure 1, on va décrire une paroi de cuve étanche et thermiquement isolante selon un mode de réalisation utile à la compréhension de l'invention.

Une cuve étanche et thermiquement isolante pour le transport de GNL comporte une pluralité de parois de cuve délimitant un espace interne destiné au stockage du GNL. Chaque paroi de cuve comporte, depuis l'extérieur vers l'intérieur de la cuve, une barrière d'isolation thermique secondaire 1, une membrane d'étanchéité secondaire 2, une barrière d'isolation thermique primaire 3 et une membrane d'étanchéité primaire 4 destinée à être en contact avec un fluide cryogénique contenu dans la cuve.

La barrière d'isolation thermique secondaire 1, ci-après barrière isolante secondaire 1, comporte des blocs isolants secondaires 5. Ces blocs isolants secondaires 5 sont juxtaposés et ancrés à une structure porteuse 6 par des organes de retenue secondaires, par exemple des goujons ou des coupleurs soudés à la structure porteuse 6. Ces blocs isolants secondaires 5 forment une surface de support secondaire sur laquelle est retenue la membrane d'étanchéité secondaire 2.

De même, la barrière thermiquement isolante primaire 3, ci-après barrière isolante primaire 3, comporte des blocs isolants primaires 7. Ces blocs isolants primaires 7 sont juxtaposés et retenus sur la membrane d'étanchéité secondaire 2 par des organes de retenue primaires. Ces blocs isolants primaires 7 forment une surface de support primaire sur laquelle est retenue la membrane d'étanchéité primaire 4.

La structure porteuse 6 peut notamment être une tôle métallique autoporteuse ou, plus généralement, tout type de cloison rigide présentant des propriétés mécaniques appropriées. La structure porteuse 6 peut notamment être formée par la coque ou la double coque d'un navire. La structure porteuse 6 comporte une pluralité de parois définissant la forme générale de la cuve, habituellement une forme polyédrique.

Les blocs isolants secondaires 5 et primaires 7 présentent sensiblement une forme de parallélépipède rectangle. Ces blocs isolants secondaires 5 et primaires 7 comportent chacun une couche de garniture isolante 8 intercalée entre une plaque de fond 9 et une plaque de couvercle 10.

La figure 1 illustre le comportement de deux zones d'une paroi de cuve comportant des blocs isolant 5, 7 ayant des structures différentes. Sur cette figure 1, une première zone 11 et une deuxième zone 12 de la paroi de cuve étanche et thermiquement isolante sont représentées schématiquement.

La première zone 11 de la paroi de cuve illustrée sur la partie droite de la figure 1 représente une zone de la paroi de cuve soumise à de fortes contraintes dans la cuve. La deuxième zone 12 de la paroi de cuve illustrée sur la partie gauche de la figure 1 représente une zone de la paroi de cuve soumise à des contraintes
5 moindres dans la cuve.

Dans la suite de la description, la première zone 11 comporte des blocs isolants 5, 7 présentant une bonne résistance aux contraintes et la deuxième zone 12 comporte des blocs isolants 5, 7 présentant une résistance aux contraintes moindre mais de meilleures propriétés d'isolation thermique.

10 Les blocs isolants 5, 7 de la première zone 11 comportent des entretoises se développant selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve entre la plaque de couvercle 10 et la plaque de fond 9 desdits blocs isolants 5, 7. Ces entretoises sont distribuées sur la surface de la plaque de couvercle 10 et de la plaque de fond 9 de sorte que la plaque de fond 9 et la plaque de couvercle 10 desdits blocs isolants 5,
15 7 sont maintenues à distance l'une de l'autre par lesdites entretoises. De préférence, ces entretoises sont distribuées sur toute la surface de la plaque de couvercle 10 et de la plaque de fond 9. Du fait de la présence des entretoises et de leur répartition de façon distribuée entre la plaque de fond 9 et la plaque de couvercle 10, la résistance mécanique selon la direction d'épaisseur des blocs
20 isolants 5, 7 de la première zone est principalement déterminée par les entretoises. Sur le même principe le comportement des blocs isolants 5, 7 de la première zone dans la direction d'épaisseur est principalement déterminé par le coefficient de contraction thermique des entretoises qui est de l'ordre $4 \text{ à } 10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ lorsque ces dernières sont en contreplaqué. Autrement dit, la garniture isolante 8 ne participe
25 pas ou peu au maintien à distance des plaques de fond et de couvercle. Une telle garniture isolante 8 est par exemple de la laine de verre, de la perlite, ou encore de la mousse polymère basse densité, par exemple présentant une densité comprise entre 30 et 40 Kg/m³.

De tels blocs isolants 5, 7 de la première zone 11 peuvent être réalisés de
30 nombreuses manières. En particulier, les entretoises peuvent prendre de nombreuses formes comme par exemple la forme de plaque d'entretoises, de piliers porteurs, de côtés latéraux des blocs isolants 5, 7 etc.

Par exemples, les blocs isolants 5, 7 de la première zone peuvent être réalisés sous la forme de caissons comportant des bords latéraux et des plaques d'entretoises porteuses entre les plaques de fond 9 et de couvercle 10. La garniture isolante 8 de tels blocs est logée dans des espaces internes délimités par les bords latéraux et les entretoises porteuses entre la plaque de fond et la plaque de couvercle. Les documents FR2798358, FR2867831, FR2877639 et FR2683786 décrivent des modes de réalisation de tels blocs isolants 5, 7 de la première zone sous la forme de caissons.

De même, les blocs isolants 5, 7 de la première zone peuvent comporter des piliers porteurs, la plaque de fond 9 et la plaque de couvercle 10 étant maintenues à distance par ces piliers porteurs se développant selon la direction d'épaisseur desdits blocs isolants. De tels piliers porteurs sont répartis de façon distribuée entre la plaque de fond 9 et la plaque de couvercle 10 afin d'assurer de façon uniforme l'écartement entre les plaques de fond et de couvercle. Des modes de réalisation de tels blocs comportant des piliers porteurs sont par exemple décrits dans les documents WO2016097578, FR2877638 et WO2013017773.

Les blocs isolants 5, 7 de la deuxième zone 12 comportent une garniture isolante 8 sous forme de mousse isolante structurale intercalée entre la plaque de couvercle 10 et la plaque de fond 9 sur la surface de la plaque de couvercle 10 et de la plaque de fond 9. De préférence, cette mousse isolante structurale est intercalée entre la plaque de couvercle 10 et la plaque de fond 9 sur sensiblement toute la surface de la plaque de couvercle 10 et de la plaque de fond 9. Ainsi, la plaque de couvercle 10 desdits blocs isolants 5, 7 de la deuxième zone 12 est maintenue à distance de la plaque de fond 9 par ladite mousse isolante structurale. Une telle mousse isolante structurale présente, dans le sens de l'épaisseur de la paroi de la cuve, un coefficient de contraction thermique plus élevé que le coefficient de contraction thermique des entretoises dans ledit sens de l'épaisseur de la paroi de la cuve. De même, une telle mousse isolante structurale présente, dans le sens de l'épaisseur de la paroi de la cuve, un module d'élasticité plus faible que le module d'élasticité des entretoises dans ledit sens de l'épaisseur de la paroi de la cuve.

Une telle mousse isolante structurale peut prendre de nombreuses formes, cette mousse isolante structurale ayant pour fonction, en plus de sa fonction d'isolation thermique, de maintenir à distance les plaques de fond 9 et de couvercle

10. Ainsi, la résistance mécanique selon la direction d'épaisseur des blocs isolants 5, 7 de la deuxième zone 12 est principalement déterminée par les caractéristiques de la mousse isolante structurelle. Des blocs isolants 5, 7 comportant une telle mousse isolante structurelle peuvent prendre de nombreuses formes.

5 Par exemple, de tels blocs 5, 7 de la deuxième zone peuvent comporter une mousse de polyuréthane structurellement apte à maintenir à distance la plaque de fond et la plaque de couvercle. La mousse isolante structurelle est par exemple une mousse de polyuréthane renforcée par de la fibre de verre ou d'aramide présentant une densité de 120 à 140 Kg/m³. La mousse isolante structurelle peut
10 également être une mousse de polyuréthane renforcée à haute densité présentant une densité supérieure ou égale à 170 Kg/m³, de préférence égale à 210 Kg/m³. De tels blocs isolants 5, 7 sont par exemple décrits dans le document FR2813111. De même, les documents WO2013124556 et WO2013017781 décrivent des blocs isolants 5, 7 comportant une couche de mousse isolante structurelle intercalée entre
15 et maintenant à distance une plaque de fond et une plaque de couvercle.

Les blocs isolants 5, 7 de la deuxième zone 12 peuvent présenter des zones de renforcements ponctuels. Cependant, à l'exception de ces zones de renforcement ponctuel, les plaques de fond et de couvercle des blocs isolants de ces documents sont maintenues à distance principalement par la mousse isolante
20 structurelle. Par exemple, les blocs isolants 5, 7 de la deuxième zone 12 peuvent comporter des piliers d'angle permettant de renforcer les zones d'ancrage du bloc isolant 5, 7. Cependant, ces piliers d'angle constituent des zones singulières ponctuelles, la plaque de fond 9 et la plaque de couvercle 10 étant principalement maintenues à distance par la mousse isolante structurelle. Le document
25 WO2013017781 décrit un exemple de réalisation de tels blocs isolants 5, 7 de la deuxième zone 12 comportant des piliers d'angles.

Les documents indiqués ci-dessus donnent également d'autres détails sur la fabrication de cuves étanches et thermiquement isolantes, notamment sur les membranes d'étanchéité secondaire 2 et primaire 4, les organes d'ancrage des
30 barrières isolantes 1, 3. D'autres exemples de réalisation possibles des membranes d'étanchéité, à base de tôles métalliques ondulées, sont également décrits dans le document WO2016/046487, le document WO2013004943 ou encore le document WO2014057221.

Les blocs isolants 5, 7 de la première zone 11 présentent de bonnes caractéristiques de résistance aux contraintes du fait des entretoises. Cependant, ces entretoises forment également des endroits de plus grande conductivité thermique entre la plaque de fond 9 et la plaque de couvercle 10.

5 Inversement, les blocs isolants 5, 7 de la deuxième zone 12 présentent de bonnes propriétés d'isolation thermique, meilleures que celles de la première zone 11. Cependant, ces blocs isolants 5, 7 de la deuxième zone 12 présentent une résistance aux contraintes moindre que celle des blocs isolants 5, 7 de la première zone 11.

10 De préférence, la première zone 11 est adjacente à un angle de la cuve et la deuxième zone 12 est disposée dans la partie centrale de la paroi. En effet, les blocs isolants dans la cuve sont soumis à des contraintes différentes selon leur localisation. En particulier, les blocs isolants agencés dans les zones d'angles de la cuve, à savoir la première zone 11, sont généralement soumis à de plus forte
15 contraintes que les blocs isolants localisés dans les zones planes de la cuve, à savoir la deuxième zone 12.

Dans un mode de réalisation non représenté, la première zone 11 peut être adjacente à une portion de la paroi de cuve où les membranes d'étanchéité doivent être interrompues, par exemple une portion de la paroi de cuve traversée par une
20 canalisation, notamment une canalisation d'un dôme gaz, une portion de la paroi de cuve traversée par un pied de support, par exemple pour une pompe, ou une portion de la paroi de cuve à l'extrémité d'un dôme liquide. Des portions de paroi de cuve traversées par une canalisation ou un pied de support pour une pompe sont par exemple décrites dans le document WO2014128381. En effet, dans ces zones
25 spécifiques de la cuve, les blocs isolants peuvent également être soumis à de fortes contraintes.

Grâce à la disposition de la figure 1, on a adapté le type de blocs isolants aux zones de la cuve dans lesquelles lesdits blocs isolants sont agencés, et plus particulièrement aux contraintes que lesdits blocs isolants doivent subir dans ces
30 zones. Un tel agencement des blocs isolants dans la cuve permet d'obtenir une cuve optimisée tant d'un point de vue isolation thermique que d'un point de vue résistance aux contraintes.

Cependant, l'utilisation de blocs isolants ayant des structures et matériaux différents entraîne des différences opérationnelles de fonctionnement desdits blocs isolants, en particulier en compression, en fluage, en écart dimensionnelle dans l'épaisseur des blocs isolants, sous l'effet des changements thermique, de la
5 pression hydrostatique et hydrodynamique dans la cuve etc.

La partie supérieure de la figure 1 illustre ces deux zones 11, 12 dans le cadre d'une cuve vide à température ambiante, par exemple 20°C. La partie inférieure de la figure 1 illustre ces deux zones 11, 12 dans le cadre d'une cuve pleine de GNL à -163°C.

10 La première zone 11 et la deuxième zone 12 présentent une épaisseur identique à température ambiante afin de fournir une surface de support plane pour les membranes d'étanchéité 2, 4.

Dans la suite de la description, l'expression coefficient de contraction thermique est utilisée en référence au coefficient de contraction thermique d'un
15 élément selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve.

Du fait de la structure différente des blocs isolants 5, 7, la première zone 11 et la deuxième zone 12 présentent des coefficients de contraction thermique différents, des raideurs différentes, une résistance au fluage différente, etc. Autrement dit, la première zone 11 et la deuxième zone 12 se comportent
20 différemment sous les chargements thermiques, cargo, sloshing etc.

En conséquence, la première zone 11 et la deuxième zone 12 présentent des changements d'épaisseur différents lorsque la cuve est remplie de GNL. Ainsi, si la première zone 11 et la deuxième zone 12 présentent une épaisseur identique lorsque la cuve est vide comme illustrée sur la partie supérieure de la figure 1, une
25 marche 13 selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve apparaît entre la première zone 11 et la deuxième zone 12 lorsque la cuve est remplie de GNL comme illustré sur la partie inférieure de la figure 1. Cette marche 13 est particulièrement importante au niveau de la surface de support primaire supportant la membrane d'étanchéité primaire 4 du fait que cette marche 13 est générée par le
30 différentiel de changement d'épaisseur des deux barrières isolantes 1 et 3. Par exemple, dans le cas d'une première zone comportant des blocs isolants sous forme de caissons en contreplaqué et une deuxième zone comportant des blocs isolants en mousse structurelle, une barrière isolante primaire 3 de 230mm

d'épaisseur et une barrière isolante secondaire 1 de 300mm d'épaisseur, on peut observer une marche 13 pouvant atteindre environ 8 à 12mm principalement sous les effets conjoints du sloshing et de la contraction thermique pour deux tiers et minoritairement sous l'effet combiné de la pression cargo et du fluage.

- 5 Or, les membranes d'étanchéité 2, 4 ont un fonctionnement optimal dans une géométrie plane et peuvent présenter des fragilités sous des marches excessives. C'est pourquoi les barrières thermiquement isolantes de l'art antérieur utilisent des blocs isolants présentant des structures similaires sur toute la surface des parois de cuve. Cette problématique est particulièrement présente dans le
- 10 cadre de membranes étanches en bandes d'Invar à bords relevées, même si elle se pose également de manière moindre dans le cadre de membranes étanches à tôles métalliques ondulées.

La figure 2 est une représentation schématique illustrant le principe d'une paroi de cuve dans laquelle les barrières thermiquement isolantes 1, 3 comportent

15 des blocs isolants 5, 7 agencés en fonction des contraintes subies dans la cuve tout en présentant une surface de support adaptée au supportage des membranes d'étanchéité 2, 4. De nombreux modes de réalisation sont décrits plus précisément ci-après en regard des figures 3 à 17 afin de mettre en œuvre une telle paroi de cuve.

- 20 La paroi de cuve illustrée sur la figure 2 comporte de façon analogue à la paroi de cuve décrite en regard de la figure 1 une première zone 11 et une deuxième zone 12 comportant des blocs isolants 5, 7 ayant des structures différentes. La paroi de cuve comporte également une zone de transition 14 intercalée entre la première zone 11 et la deuxième zone 12. Cette zone de
- 25 transition 14 comporte des blocs isolants 5, 7 sélectionnés pour que ladite zone de transition 14 présente un comportement en compression intermédiaire entre le comportement en compression de la première zone 11 et le comportement en compression de la deuxième zone 12.

Comme illustré sur la partie supérieure de la figure 2, les blocs isolants 5, 7

30 de la zone de transition 14 sont sélectionnés pour affleurer avec les blocs isolants 5, 7 des première et deuxième zones 11, 12 lorsque la cuve est vide à température ambiante afin de fournir une surface de support plane pour les membranes d'étanchéité. Cependant, les blocs isolants 5, 7 de la zone de transition 14 sont

également sélectionnés de sorte que la zone de transition 14 présente une épaisseur comprise entre l'épaisseur de la première zone 11 et l'épaisseur de la deuxième zone 12 lorsque la cuve est pleine de GNL comme illustré sur la partie inférieure de la figure 2.

- 5 Selon un mode de réalisation préférentiel, les blocs isolants 5, 7 de la zone de transition 14 sont sélectionnés de sorte que le coefficient de contraction thermique de la zone de transition 14 soit compris entre le coefficient de contraction thermique de la première zone 11 et le coefficient de contraction thermique de la deuxième zone 12.
- 10 Les blocs isolants 5, 7 de la zone de transition 14 peuvent également être sélectionnés en fonction d'autres caractéristiques. Ainsi, les blocs isolants 5, 7 de la zone de transition 14 peuvent être sélectionné en fonction de leur raideur à l'impact, par exemple pour prendre en compte les effets de ballotement du liquide contenu dans la cuve (appelé « sloshing » en anglais). Ces blocs isolants 5, 7 de la zone de
- 15 transition 14 peuvent également être sélectionnés en fonction de leur raideur en compression statique pour prendre en compte la pression liée au poids du liquide contenu dans la cuve. D'autres caractéristiques telles que le module de Young en compression ou encore la résistance au fluage dans le temps peuvent également être prises en compte.
- 20 Ainsi, dans un mode de réalisation, la description faite en regard du coefficient de contraction thermique s'applique par analogie au module d'élasticité des zones de la paroi de cuve. La première zone 11 présente un module d'élasticité supérieur au module d'élasticité de la deuxième zone 12 et la zone de transition présente un module d'élasticité compris entre le module d'élasticité de la première
- 25 zone 11 et le module d'élasticité de la deuxième zone 12. En outre, le module d'élasticité de la zone de transition 14 peut diminuer depuis la première zone 11 en direction de la deuxième zone 12.

- En tout état de cause, les blocs isolants 5, 7 de la zone de transition sont sélectionnés de sorte que la zone de transition 14 ait un comportement en
- 30 compression intermédiaire entre le comportement en compression des première et deuxième zone 11, 12 et que l'épaisseur de la zone de transition 14 soit comprise entre l'épaisseur de la première zone 11 et l'épaisseur de la deuxième zone 12 lorsque la cuve est pleine de GNL.

Une telle zone de transition 14 permet une transition douce entre la première zone 11 et la deuxième zone 12. En effet, grâce à la zone de transition 14, la marche 13 entre la première zone 11 et la deuxième zone 12 est subdivisée en une première marche 15 et une deuxième marche 16 de tailles réduites. La première marche 15 est située entre la première zone 11 et la zone de transition 14 et la deuxième marche 16 est située entre la zone de transition 14 et la deuxième zone 12. La paroi de cuve ne présente ainsi plus de marche 13 importante telle qu'illustrée sur la figure 1 qui pourrait dégrader les membranes d'étanchéité 2, 4 tout en présentant des zones dont la résistance et les propriétés d'isolation sont adaptées aux contraintes dans la cuve. On entend par marches 15, 16 de tailles réduites des marches de taille moins importante que la marche 13 entre la première zone 11 et la deuxième zone 12.

Sur les figures 3 à 18 et 20, la première zone 11 comporte dans la barrière isolante primaire 3 et dans la barrière isolante secondaire 1 des blocs isolants 5, 7 structurellement analogues. Sur ces figures 3 à 18 et 20, la deuxième zone 12 comporte dans la barrière isolante primaire 3 et dans la barrière isolante secondaire 1 des blocs isolants 5, 7 structurellement analogue. Pour des questions de lisibilité des figures, seuls un bloc isolant primaire 7 et un bloc isolant secondaire 5 de la première zone 11 et de la deuxième zone 12 sont illustrés sur les figures 3 à 17 et 20, la première zone 11 et la deuxième zone 12 pouvant comporter un ou une pluralité de blocs isolants primaires 7 et secondaires 5 juxtaposés selon les dimensions souhaitées desdites première zone 11 et deuxième zone 12.

La figure 3 illustre un premier mode de réalisation de la zone de transition 14 dans une paroi de cuve. Dans ce premier mode de réalisation, la zone de transition 14 comporte un bloc isolant secondaire 5 et un bloc isolant primaire 7 superposés. Le bloc isolant secondaire 5 de la zone de transition 14 est identique aux blocs isolants secondaire 5 de la première zone 11. Le bloc isolant primaire 7 de la zone de transition 14 est identique aux blocs isolants primaire 7 de la deuxième zone 12. En conséquence, le coefficient de contraction thermique de la zone de transition 14 est la somme des coefficients de contraction thermique d'un bloc isolant secondaire 5 de la première zone 11 et d'un bloc isolant primaire 7 de la deuxième zone. Ainsi, le coefficient de contraction thermique de la zone de transition 14 est compris entre le coefficient de contraction thermique de la première zone 11 et le coefficient de contraction thermique de la deuxième zone 12.

Ce premier mode de réalisation présente l'avantage d'être simple à réaliser puisqu'il utilise des blocs isolants 5, 7 standardisés de la première zone 11 et de la deuxième zone 12 pour former la zone de transition 14. Ce premier mode de réalisation permet ainsi de subdiviser la marche 13 de la surface de support 5 primaire en deux marches 15, 16 de tailles réduites.

Selon une variante non illustrée du premier mode de réalisation, le bloc isolant primaire 7 de la zone de transition 14 est identique aux blocs isolants primaire 7 de la première zone 11 et le bloc isolant secondaire 5 de la zone de transition 14 est identique aux blocs isolants secondaire 5 de la deuxième zone 12.

10 Cette variante non illustrée permet également d'obtenir une zone de transition 14 simple à réaliser en utilisant des blocs isolants 5, 7 identiques aux blocs isolants 5, 7 de la première zone 11 et de la deuxième zone 12 tout en fournissant une zone de transition 14 subdivisant la marche 13 entre la première zone 11 et la deuxième zone 12 en des marches 15, 16 acceptables pour la membrane d'étanchéité 15 primaire 4.

La figure 4 illustre un deuxième mode de réalisation de la zone de transition 14. Dans ce deuxième mode de réalisation, la zone de transition 14 comporte un bloc isolant secondaire 5 identique aux blocs secondaires 5 de la première zone 11. Cependant, la barrière isolante primaire 3 de la zone de transition 20 14 est formée par un bloc isolant primaire 7 se développant conjointement dans la zone de transition 14 et dans la deuxième zone 12.

Un bloc isolant secondaire d'extrémité 17 de la deuxième zone 12 présente une structure analogue mais des dimensions inférieures aux autres blocs isolants secondaires 5 de la deuxième zone 12. Ainsi, un bloc isolant primaire d'extrémité 25 18 de la deuxième zone 12 reposant sur le bloc isolant secondaire d'extrémité 17 comporte une portion saillante 19 faisant saillie en direction de la première zone 11 au-delà du bloc isolant secondaire d'extrémité 17. Cette portion saillante 18 repose sur le bloc isolant secondaire 5 de la zone de transition 14. Autrement dit, cette portion saillante 19 forme la barrière isolante primaire 3 dans la zone de transition 30 14.

Dans ce deuxième mode de réalisation, la zone de transition 14 est ainsi constituée d'une part du bloc isolant secondaire 5 identique aux blocs isolants secondaires 5 de la première zone 11 et, d'autre part, de la portion saillante 19 du

bloc isolant primaire d'extrémité 17 de la deuxième zone 12. La zone de transition 14 présente donc un coefficient de contraction thermique identique au coefficient de contraction thermique de la zone de transition 14 décrite en regard du premier mode de réalisation de la figure 3. Cependant, dans ce deuxième mode de réalisation, la

5 barrière isolante primaire 3 ne présente pas de marche 16 entre la zone de transition 14 et la deuxième zone 12. En effet, cette marche 16 présente dans le premier mode de réalisation est avantageusement absorbée par le bloc isolant primaire d'extrémité 18 se développant conjointement dans la zone de transition 14 et dans la deuxième zone 12, celui-ci présentant une surface de support plane et

10 inclinée entre la zone de transition 14 et la deuxième zone 12.

La figure 5 illustre une réalisation possible du deuxième mode de réalisation de la figure 4.

Sur cette figure, la première zone 11 est une zone d'angle de paroi de cuve. Un tel angle de cuve est décrit dans les documents FR2798358 ou

15 WO2015007974 par exemples. Cet angle de la cuve comporte des blocs isolants 5, 7 sous forme de caissons en contreplaqué délimitant un espace interne rempli d'une garniture isolante telle que de la perlite. Des entretoises porteuses sont agencées de façon distribuée dans l'espace interne des caissons afin de procurer aux caissons une bonne résistance aux contraintes. Des caissons de structure analogue

20 sont utilisés pour réaliser la barrière thermiquement isolante primaire et pour la barrière thermiquement isolante secondaire.

La deuxième zone est constituée de blocs isolants 5, 7 comportant une garniture isolante 8 sous forme de mousse isolante structurelle agencée entre la plaque de fond 9 et la plaque de couvercle 10. Ces blocs isolants 5, 7 comportent

25 en outre une plaque intermédiaire 20 logée dans la garniture isolante 8, ladite garniture isolante 8 comportant ainsi une mousse isolante supérieure 21 agencée entre la plaque de couvercle 10 et la plaque intermédiaire 20 et une mousse isolante inférieure 22 agencée entre la plaque intermédiaire 20 et la plaque de fond 9. La mousse isolante supérieure 21 et la mousse isolante inférieure 22 sont par

30 exemple une mousse de polyuréthane présentant une densité de 130 Kg/m^3 . Dans le mode de réalisation illustré sur la figure 5, le bloc isolant secondaire 5 de la deuxième zone 12 est par exemple un bloc isolant secondaire tel que décrit dans le document WO2014096600. Sur cette figure 5, le bloc isolant primaire 7 de la

deuxième zone 12 est par exemple un bloc isolant primaire tel que décrit dans le document WO2013124556.

Les membranes d'étanchéité secondaire 2 et primaire 4 sont ici réalisées au moyen de bandes d'Invar à bords relevés, par exemple d'une dimension de 500 mm. Les bords relevés de deux bandes d'Invar adjacentes sont soudés deux à deux sur des supports de soudure ancrés dans la plaque de couvercle 10 des blocs isolants 5, 7 formant la surface de support sur laquelle repose lesdits bandes d'Invar. Un anneau de raccordement comporte des ailes d'ancrage 23 primaire et secondaire dont une extrémité est soudée à la structure porteuse 6 et l'autre extrémité est soudée à l'extrémité de la membrane d'étanchéité respectivement primaire 4 et secondaire 2 afin d'ancrer lesdites membranes d'étanchéités primaire 4 et secondaire 2 à la structure porteuse 6. Un tel anneau de raccordement est par exemple décrit dans le document FR2798358, le document WO8909909 ou encore le document WO2015007974.

Dans un autre mode de réalisation, l'anneau de raccordement est constitué uniquement d'ailes d'ancrage 23 secondaire dont une extrémité est soudée à la structure porteuse 6 et l'autre extrémité est soudée à l'extrémité de la membrane d'étanchéité secondaire 2 afin d'ancrer ladite membrane d'étanchéité secondaire 2 à la structure porteuse 6.

Afin d'améliorer l'absorption des marches 15, 16 liées aux différences de structure des blocs isolants 5, 7 entre les différentes zones 11, 12, 14 de la paroi de cuve, la membrane d'étanchéité primaire 4 comporte avantageusement une portion de membrane comportant des ondulations 24. De telles ondulations 24 se développent le long des marches 15, 16. Ces ondulations 24 sont par exemple réalisées au moyen d'une tôle métallique ondulée telle que celles décrites dans le document FR2691520. Cette tôle métallique ondulée est intercalée entre une extrémité 25 des bandes d'Invar de la membrane d'étanchéité primaire 4 et l'aile d'ancrage 23 primaire de l'anneau de raccordement. Différentes pièces métalliques non illustrées peuvent également être intercalées entre la tôle métallique ondulée et l'aile d'ancrage 23 primaire, par exemple une cornière d'angle formant l'arête de la membrane d'étanchéité primaire 4 au niveau de l'angle de la cuve.

La figure 5 montre à titre illustratif une première zone 11 comportant d'une part des blocs isolants 5, 7 dans l'anneau de raccordement et, d'autre part, un bloc

isolant primaire 7 et un bloc isolant secondaire 5 hors de l'anneau de raccordement. Cette configuration est avantageuse car le bloc isolant primaire 7 et le bloc isolant secondaire 5 de la première zone 11 situés hors de l'anneau de raccordement participent à la bonne tenue de l'anneau de raccordement dans l'angle de la cuve et des soudures entre l'anneau de raccordement et les membranes. Cependant, cette première zone pourrait ne comporter que les blocs isolants situés dans l'anneau de raccordement de sorte que la zone de transition 14 serait directement adjacente à l'anneau de raccordement.

Les figures 6 à 8 illustrent un troisième mode de réalisation de la zone de transition 14. Ce troisième mode de réalisation diffère du premier mode de réalisation en ce que la zone de transition 14 comporte au moins un bloc isolant distinct 26 des blocs isolants 5, 7 de la première zone 11 et de la deuxième zone 12. Ce ou ces blocs isolants distincts 26 présentent un coefficient de contraction thermique compris entre les coefficients de contraction thermique des blocs isolants 5, 7 adjacents dans la barrière isolante 1, 3 correspondante.

Ainsi, sur la figure 6, la zone de transition 14 comporte un bloc isolant secondaire 5 identique au bloc isolant secondaire 5 de la première zone 11 et un bloc isolant distinct 26 agencé dans la barrière isolante primaire 1. Ce bloc isolant distinct 26 constitue un bloc isolant primaire 7 de la zone de transition 14 présentant un coefficient de contraction thermique compris entre le coefficient de contraction thermique des blocs isolants primaires 7 de la première zone 11 et de la deuxième zone 12.

Inversement, sur la figure 7, la zone de transition 14 comporte un bloc isolant primaire 7 identique aux blocs isolant primaire 7 de la deuxième zone 12 et un bloc isolant distinct 26 agencé dans la barrière isolante secondaire 1. Ce bloc isolant distinct 26 constitue un bloc isolant secondaire 5 de la zone de transition 14 présentant un coefficient de contraction thermique compris entre le coefficient de contraction thermique des blocs isolants secondaire 5 de la première zone 11 et de la deuxième zone 12.

Sur la figure 8, la zone de transition 14 comporte deux blocs isolants distincts 26 superposés. Ces blocs isolants distincts 26 constituent un bloc isolant primaire 7 et un bloc isolant secondaire 5 de la zone de transition ayant tous les deux des structures analogues et un coefficient de contraction thermique compris

entre ceux des blocs isolants 5, 7 adjacents de la première zone 11 et de la deuxième zone 12.

Les blocs isolants distincts 26 de la zone de transition 14 dans ce troisième mode de réalisation sont par exemple des blocs isolants comportant une plaque de couvercle 10 et une plaque de fond 9 maintenues à distance par une mousse isolante structurelle distincte 27, cette mousse isolante structurelle distincte 27 étant différente de la mousse isolante structurelle des blocs isolants 5, 7 de la deuxième zone 12. Par exemple, les blocs isolant 5, 7 de la deuxième zone 12 peuvent comporter une mousse de polyuréthane ayant une densité de 130 Kg/m^3 alors que la mousse isolante structurelle distincte 27 est une mousse de polyuréthane renforcée qui présente une densité de 210 Kg/m^3 . Ainsi, la zone de transition 14 présente un coefficient de contraction thermique compris entre le coefficient de contraction thermique de la première zone 11 et le coefficient de contraction thermique de la deuxième zone 12.

La figure 9 illustre un quatrième mode de réalisation de la zone de transition 14. Dans ce quatrième mode de réalisation, la zone de transition 14 comporte une pluralité de blocs isolants primaire 7 et une pluralité de blocs isolants secondaires 5. Ce mode de réalisation permet de subdiviser la zone de transition 14 en plusieurs sous-zones présentant chacune des coefficients de contraction thermiques distincts et donc de subdiviser la marche 13 entre la première zone 11 et la deuxième zone 12 en une pluralité de marches de tailles réduites. Sur cette figure 9, la zone de transition 14 est divisée en une première sous-zone 28 et une deuxième sous-zone 29. La première sous-zone 28 est jointive de la première zone 11 et la deuxième sous-zone 28 est jointive de la deuxième zone 12.

La première sous-zone 28 de la zone de transition 14 comporte un bloc isolant secondaire 5 identique aux blocs isolants secondaires 5 de la première zone 11 et un bloc isolant primaire 7 identique aux blocs isolants primaires 7 de la deuxième zone 12. Autrement dit, cette première sous-zone 28 est réalisée selon le premier mode de réalisation décrit ci-dessus en regard de la figure 3.

La deuxième sous-zone 29 de la zone de transition 14 comporte un bloc isolant primaire 7 identique aux blocs isolants primaires 7 de la deuxième zone 12. Cependant, le bloc isolant secondaire 5 de la deuxième sous-zone 29 est un bloc isolant secondaire mixte 30. Ce bloc isolant secondaire mixte 30 présente un

coefficient de contraction thermique compris entre le coefficient de contraction thermique du bloc isolant secondaire 5 de la première zone 11 et le coefficient de contraction thermique du bloc isolant secondaire 5 de la deuxième zone 12. Ainsi, la deuxième sous zone 29 présente un coefficient de contraction thermique compris

5 entre le coefficient de contraction thermique de la première sous-zone 28 et le coefficient de contraction thermique de la deuxième zone 12. En conséquence, la marche 14 entre la première zone 11 et la deuxième zone 12 est subdivisée en une première marche séparant la première zone 11 et la première sous-zone 28, une deuxième marche séparant la première sous-zone 28 et la deuxième sous-zone 29

10 et une troisième marche séparant la deuxième sous-zone 29 et la deuxième zone 12.

Afin de présenter un coefficient de contraction thermique adapté, le bloc isolant secondaire mixte 30 comporte un élément supérieur 31 et un élément inférieur 32 superposés dans le sens de l'épaisseur. Le bloc isolant secondaire

15 mixte 30 comporte par exemple un élément inférieur 32 formé par la plaque de fond 9 et une garniture isolante structurelle inférieure 33 et un élément supérieur 31 formé par un caisson isolant. Un tel caisson isolant comporte une plaque intermédiaire 34 et la plaque de couvercle 10 maintenues à distance par des entretoises porteuses de façon analogue aux blocs isolants 5, 7 de la première zone

20 11.

D'autres réalisations peuvent être mises en œuvre pour obtenir un bloc isolant secondaire mixte 30 dont le coefficient de contraction thermique est compris entre le coefficient de contraction thermique des blocs isolants secondaire 5 de la première zone 11 et de la deuxième zone 12. Selon un mode de réalisation,

25 l'élément supérieur 31 peut être réalisé au moyen d'une mousse isolante structurelle présentant une densité supérieure à la densité de la mousse isolante structurelle des blocs isolants secondaire 5 de la deuxième zone 12. Dans un autre mode de réalisation, l'élément inférieur 32 est un caisson et l'élément supérieur 31 comporte une mousse isolante structurelle. Dans un mode de réalisation, les épaisseurs

30 respectives de l'élément supérieur 31 et de l'élément inférieur 32 sont adaptées au coefficient de contraction thermique souhaité du bloc isolant secondaire mixte 30.

La figure 10 est une illustration d'une réalisation du quatrième mode de réalisation de la figure 9. Dans cette réalisation, la première zone 11 et la deuxième

zone 12 sont réalisées de façon analogue aux premières et deuxième zones 11, 12 décrites ci-dessus en regard de la figure 5.

La première sous-zone 28 de la zone de transition 14 comporte un bloc isolant secondaire 5 sous forme de caisson identique aux blocs isolants secondaires 5 de la première zone 11. Le bloc isolant primaire 7 de la première sous-zone 28 comporte une mousse de polyuréthane renforcée à haute densité 35 ayant une densité supérieure à la densité de la mousse isolante structurelle des blocs isolants primaires 7 de la deuxième zone 12 de sorte que la première sous zone 28 de la zone de transition 14 présente un coefficient de contraction thermique supérieur au coefficient de contraction thermique de la première zone 11 mais inférieur au coefficient de contraction thermique de la deuxième zone 12. Le bloc isolant primaire 7 de la zone de transition 14 peut comporter en outre une plaque intermédiaire 20 logée dans la mousse de polyuréthane renforcée à haute densité 35, ladite mousse de polyuréthane renforcée à haute densité 35 étant ainsi agencée entre la plaque de couvercle 10 et la plaque intermédiaire 20 et entre la plaque intermédiaire 20 et la plaque de fond 9.

La deuxième sous zone 29 de la zone de transition 14 comporte un bloc isolant secondaire mixte 30. Cette deuxième sous zone 29 comporte un bloc isolant primaire 7 identique au bloc isolant primaire 7 de la première sous zone 28. Le bloc isolant secondaire mixte 30 présente un élément inférieur 32 en mousse isolante structurelle identique à la mousse isolante structurelle des blocs isolants secondaire 5 de la deuxième zone 12. L'élément supérieur 31 du bloc isolant secondaire mixte 30 est un caisson présentant une structure analogue à la structure des blocs isolants secondaires 5 de la première zone 11. Ainsi, le bloc isolant secondaire mixte 30 présente un coefficient de contraction thermique compris entre le coefficient de contraction thermique du bloc isolant secondaire 5 de la première sous zone 28 et le coefficient de contraction thermique des blocs isolants secondaire 5 de la deuxième zone 12. En conséquence, la deuxième sous zone 29 de la zone de transition 14 présente un coefficient de contraction thermique compris entre le coefficient de contraction thermique de la première sous zone 28 de la zone de transition 14 et le coefficient de contraction thermique de la deuxième zone 12.

Les figures 11 et 12 illustrent schématiquement un cinquième mode de réalisation de la zone de transition 14. Dans ce cinquième mode de réalisation, le bloc isolant secondaire 5 de la zone de transition 14 est identique au bloc isolant

secondaire 5 de la première zone 11. Le bloc isolant primaire 7 de la zone de transition 14 est un bloc isolant primaire mixte 36. De façon analogue au bloc isolant secondaire mixte 30, ce bloc isolant primaire mixte 36 comporte un élément supérieur 37 et un élément inférieur 38 superposés et présentant des structures et des coefficients de contraction thermique différents. Cependant, le bloc isolant primaire mixte 36 du cinquième mode de réalisation diffère du bloc isolant secondaire mixte 30 du quatrième mode de réalisation en ce que l'interface entre l'élément inférieur 38 et l'élément supérieur 37 dudit bloc isolant primaire mixte 36 est inclinée par rapport aux plaques de fond 9 et de couvercle 10. Autrement dit, l'élément inférieur 38 du bloc isolant primaire mixte 36 présente une épaisseur diminuant progressivement depuis la première zone 11 en direction de la deuxième zone 12 et l'élément supérieur 37 présente une épaisseur augmentant progressivement depuis la première zone 11 en direction de la deuxième zone 12. En outre, le coefficient de contraction thermique de l'élément inférieur 38 est inférieur au coefficient de contraction thermique de l'élément supérieur 37 de sorte que le coefficient de contraction thermique du bloc isolant primaire mixte 36 augmente progressivement depuis la première zone 11 en direction de la deuxième zone 12.

Ce cinquième mode de réalisation permet avantageusement de réduire les marches entre la zone de transition 14 et les première et deuxième zones 11, 12, le bloc isolant primaire mixte 36 absorbant une partie du différentiel d'épaisseur entre la première zone 11 et la deuxième zone 12 lors de sa déformation du fait de sa modification progressive de son coefficient de contraction thermique.

Dans un mode de réalisation non illustré, l'inclinaison de l'interface est inversée de sorte que l'épaisseur de l'élément supérieur 37 diminue progressivement depuis la première zone 11 en direction de la deuxième zone 12 et que l'épaisseur de l'élément inférieur 38 augmente progressivement depuis la première zone 11 en direction de la deuxième zone 12. Dans ce mode de réalisation non illustré, le coefficient de contraction thermique de l'élément supérieur 37 est inférieur au coefficient de contraction thermique de l'élément inférieur 38.

Les éléments supérieur 37 et inférieur 38 sont dimensionnés de sorte que l'épaisseur du bloc isolant primaire mixte 36 est constante à température ambiante dans la cuve.

Dans une première variante illustrée sur la figure 11, l'élément inférieur 38 est un caisson délimité selon une direction d'épaisseur de la paroi de cuve par la plaque de fond 9 du bloc isolant primaire mixte 36 et par une plaque intermédiaire 39. La plaque intermédiaire 39 est inclinée par rapport à la plaque de fond 9 de sorte que l'épaisseur dudit caisson diminue depuis la première zone 11 en direction de la deuxième zone 12. Ce caisson comporte des entretoises porteuses maintenant à distance la plaque de fond 9 du bloc isolant primaire mixte 36 est la plaque intermédiaire 39.

L'élément supérieur 37 comporte une mousse isolante structurelle intercalée entre la plaque intermédiaire 39 et la plaque de couvercle 10 de l'élément isolant primaire mixte 36. Sur la figure 11, cette mousse isolante structurelle est identique à la mousse isolante structurelle des blocs isolants primaire 7 de la deuxième zone 12.

Ainsi, le bloc isolant primaire mixte 36 présente un coefficient de contraction thermique croissant progressivement depuis la première zone 11 en direction de la deuxième zone 12. Plus particulièrement, le coefficient de contraction thermique du bloc isolant primaire mixte 36 est identique au coefficient de contraction thermique d'un bloc isolant primaire 7 de la première zone 11 du côté de ladite première zone 11 et augmente progressivement en direction de la deuxième zone 12 jusqu'à atteindre sensiblement la valeur du coefficient de contraction thermique d'un bloc isolant primaire 7 de la deuxième zone 12.

Dans une autre variante illustrée sur la figure 12, l'élément inférieur 38 du bloc isolant primaire mixte 36 présente un coefficient de contraction thermique compris entre le coefficient de contraction thermique des blocs isolants primaire 7 de la première zone 11 et le coefficient de contraction thermique des blocs isolants primaire 7 de la deuxième zone 12. Par exemple l'élément inférieur 38 est formé au moyen d'une mousse isolante structure haute densité 40 dont le coefficient de contraction thermique est inférieur au coefficient de contraction thermique de la mousse isolante structurelle des blocs isolants primaires 7 de la deuxième zone 12. L'élément supérieur 37 dudit bloc isolant primaire mixte 36 est dans cette variante identique à l'élément supérieur 37 du bloc isolant primaire mixte 36 décrit en regard de la figure 11, c'est-à-dire avec une mousse isolante structurelle identique à la mousse isolante structurelle de la deuxième zone 12.

Dans une variante non illustrée, l'élément inférieur 38 du bloc isolant primaire mixte 36 est un caisson tel que décrit ci-dessus en regard de la figure 11 et l'élément supérieur 37 dudit bloc isolant mixte 36 comporte une mousse isolante structurée dont la densité est supérieure à la densité de la mousse isolante structurée des blocs isolants primaires 7 de la deuxième zone 12.

La figure 13 est une illustration d'une réalisation du cinquième mode de réalisation de l'une des figures 11 ou 12. La figure 14 est une illustration d'un module isolant de la zone de transition de la figure 13.

La figure 15 illustre schématiquement un sixième mode de réalisation de la zone de transition 14. De façon analogue au bloc isolant primaire mixte 36 du cinquième mode de réalisation, le bloc isolant primaire 7 de la zone de transition 14 dans ce sixième mode de réalisation présente un coefficient de contraction thermique qui diminue progressivement depuis la première zone 11 en direction de la deuxième zone 12. Cependant, dans ce sixième mode de réalisation, la diminution progressive du coefficient de contraction thermique du bloc isolant primaire 7 de la zone de transition 14 est réalisée par l'utilisation de blocs de mousse structurée présentant des coefficients de contraction thermique distincts dans ledit bloc isolant primaire 7.

Ainsi, le bloc isolant primaire 7 de la zone de transition comporte une mousse isolante structurée maintenant à distance la plaque de fond 9 et la plaque de couvercle 10. Cette mousse isolante structurée présente deux portions, une première portion 41 située proche de la première zone 11 et une deuxième portion 42 située proche de la deuxième zone 12. L'interface entre la première portion 41 et la deuxième portion 42 présente au moins une marche 43 dans la direction d'épaisseur du bloc isolant primaire 7 de la zone de transition 14. Cette marche 43 permet une diminution progressive de l'épaisseur de la première portion 41 et une augmentation progressive de l'épaisseur de la deuxième portion 42 depuis la première zone 11 en direction de la deuxième zone 12.

La première portion 41 de mousse isolante structurée présente un coefficient de contraction thermique inférieur au coefficient de contraction thermique de la deuxième portion 42. Ainsi, le bloc isolant primaire 7 de la zone de transition 14 présente un coefficient de contraction thermique augmentant depuis la première zone 11 en direction de la deuxième zone 12.

La figure 16 est une illustration d'une réalisation du sixième mode de réalisation de la figure 15. La figure 17 est une illustration d'un module isolant de la zone de transition de la figure 15. Sur ces figures, la première portion 41 et la deuxième portion 42 sont réalisées à l'aide d'une mousse de polyuréthane renforcée par la présence de fibres telles que des fibres de verre. Cependant, la mousse de polyuréthane de la première portion 41 est agencée de sorte que les fibres soient orientées selon la direction d'épaisseur du bloc isolant primaire 7, comme illustré par les flèches 44. La mousse de polyuréthane de la deuxième portion 42 est agencée de sorte que les fibres soient orientées selon une direction perpendiculaire à la direction d'épaisseur du bloc isolant primaire 7, comme illustré par les flèches 45. Un tel agencement s'apparente à des marches d'un escalier formées par la première portion 41 et la deuxième portion 42.

Cette différence d'orientation des fibres entre la première portion 41 et la deuxième portion 42 permet d'obtenir un coefficient de contraction thermique différent entre la première portion 41 et la deuxième portion 42 bien que la mousse de polyuréthane utilisée pour réaliser ces deux portions 41 et 42 soit la même. Ainsi, la première portion 41 en mousse de polyuréthane à fibres orientées selon l'épaisseur de bloc isolant primaire 7 présente par exemple un coefficient de contraction thermique de l'ordre de $25.10^{-6}K^{-1}$ à $27.10^{-6}K^{-1}$ pour 10% en masse de fibre de verre alors que la deuxième portion 42 en mousse de polyuréthane à fibres orientées perpendiculairement à l'épaisseur de bloc isolant primaire 7 présente par exemple un coefficient de contraction thermique de l'ordre de $60.10^{-6}K^{-1}$.

Une autre méthode pour obtenir des coefficients de contraction thermique entre la première portion 41 et la deuxième portion 42 pourrait être de modifier le taux de fibres et sa nature dans la mousse de polyuréthane pour ajuster le coefficient de contraction thermique entre 15 et $60.10^{-6}K^{-1}$.

Dans un mode de réalisation, la première zone 11 est agencée sur tous les bords des parois de cuve, la deuxième zone 12 sur toutes les portions centrales des parois de cuve et la zone de transition 14 entre toutes les première et deuxième zones 11, 12 des parois de cuves. La figure 18 est une représentation schématique d'une paroi transversale de cuve étanche et thermiquement isolante comportant une première zone, une zone de transition et une deuxième zone selon l'invention agencées selon ce mode de réalisation.

La figure 20 est une illustration de la paroi de cuve étanche et thermiquement isolante selon un septième mode de réalisation.

Dans le mode de réalisation illustré figure 20, la première zone 11 est une zone d'angle de paroi de cuve comportant des blocs isolants 5, 7 sous forme de caissons en contreplaqué délimitant un espace interne rempli d'une garniture isolante telle que de la perlite ou de la laine de verre. Des entretoises porteuses sont agencées de façon distribuée dans l'espace interne des caissons afin de procurer aux caissons une bonne résistance aux contraintes. La première zone 11 se situe donc au niveau de l'anneau de raccordement et des blocs isolants 5, 7 sont situés dans l'anneau de raccordement.

La deuxième zone 12 est constituée de blocs isolants 5, 7 comportant une garniture isolante 8 sous forme de mousse isolante structurée agencée entre la plaque de fond 9 et la plaque de couvercle 10. Ces blocs isolants 5, 7 comportent en outre une plaque intermédiaire 20 logée dans la garniture isolante 8, ladite garniture isolante 8 comportant ainsi une mousse isolante supérieure 21 agencée entre la plaque de couvercle 10 et la plaque intermédiaire 20 et une mousse isolante inférieure 22 agencée entre la plaque intermédiaire 20 et la plaque de fond 9. La mousse isolante supérieure 21 et la mousse isolante inférieure 22 sont par exemple une mousse de polyuréthane présentant une densité de 130 Kg/m^3 . Dans le mode de réalisation illustré sur la figure 5, le bloc isolant secondaire 5 de la deuxième zone 12 est par exemple un bloc isolant secondaire tel que décrit dans le document WO2014096600. Sur cette figure 5, le bloc isolant primaire 7 de la deuxième zone 12 est par exemple un bloc isolant primaire tel que décrit dans le document WO2013124556.

La première sous-zone 28 de la zone de transition 14 comporte un bloc isolant secondaire 5 sous forme de caisson identique aux blocs isolants secondaires 5 de la première zone 11. Le bloc isolant primaire 7 de la première sous-zone 28 comporte une mousse de polyuréthane renforcée à haute densité 35 ayant une densité supérieure à la densité de la mousse isolante structurée des blocs isolants primaires 7 de la deuxième zone 12 de sorte que la première sous zone 28 de la zone de transition 14 présente un coefficient de contraction thermique supérieur au coefficient de contraction thermique de la première zone 11 mais inférieur au coefficient de contraction thermique de la deuxième zone 12. Le bloc isolant primaire 7 de la zone de transition 14 comporte dans ce mode de réalisation une

plaque intermédiaire 20 logée dans la mousse de polyuréthane renforcée à haute densité 35, ladite mousse de polyuréthane renforcée à haute densité 35 étant ainsi agencée entre la plaque de couvercle 10 et la plaque intermédiaire 20 et entre la plaque intermédiaire 20 et la plaque de fond 9.

5 La deuxième sous zone 29 de la zone de transition 14 comporte un bloc isolant secondaire mixte 30. Cette deuxième sous zone 29 comporte un bloc isolant primaire 7 identique au bloc isolant primaire 7 de la première sous zone 28. Le bloc isolant secondaire mixte 30 présente un élément inférieur 32 en mousse isolante structurelle identique à la mousse isolante structurelle des blocs isolants secondaire
10 5 de la deuxième zone 12. L'élément supérieur 31 du bloc isolant secondaire mixte 30 est un caisson présentant une structure analogue à la structure des blocs isolants secondaires 5 de la première zone 11. Ainsi, le bloc isolant secondaire mixte 30 présente un coefficient de contraction thermique compris entre le coefficient de contraction thermique du bloc isolant secondaire 5 de la première
15 sous zone 28 et le coefficient de contraction thermique des blocs isolants secondaire 5 de la deuxième zone 12. En conséquence, la deuxième sous zone 29 de la zone de transition 14 présente un coefficient de contraction thermique compris entre le coefficient de contraction thermique de la première sous zone 28 de la zone de transition 14 et le coefficient de contraction thermique de la deuxième zone 12.

20 Comme illustré sur la figure 20, la membrane étanche primaire 4 est composée de plaques métalliques ondulées. Ces plaques métalliques ondulées sont par exemple en acier inoxydable dont l'épaisseur est d'environ 1,2 mm et de taille 3 m par 1 m. La plaque métallique de forme rectangulaire comporte une première série d'ondulations parallèles, dites basses, s'étendant selon une direction
25 y d'un bord à l'autre de la tôle et une seconde série d'ondulations parallèles, dites hautes, s'étendant selon une direction x d'un bord à l'autre de la tôle métallique. Les directions x et y des séries d'ondulations sont perpendiculaires. Les ondulations sont, par exemple, saillantes du côté de la face interne de la tôle métallique 1, destinée à être mise en contact avec le fluide contenu dans la cuve. Les bords de la
30 plaque métallique sont ici parallèles aux ondulations. Notons que les termes «haute» et «basse» ont un sens relatif et signifient que les ondulations, dites basses, présentent une hauteur inférieure aux ondulations, dites hautes. Dans une variante, les ondulations peuvent avoir la même hauteur.

La plaque métallique comporte entre les ondulations, une pluralité de surfaces planes. Une partie des ondes peut être localisée entre les blocs isolants 7 ou demeurer sur les parties planes des blocs isolant 7. Au niveau de chaque croisement entre une ondulation basse et une ondulation haute, la plaque
5 métallique comporte une zone de nœud. La zone de nœud comporte une portion centrale présentant un sommet en saillie vers l'intérieur ou l'extérieur de la cuve. Par ailleurs, la portion centrale est bordée, d'une part, par une paire d'ondulations concaves formées dans la crête de l'ondulation haute et, d'autre part, par une paire de renforcements 8 dans lesquels pénètre l'ondulation basse.

10 On a décrit ci-dessus une membrane étanche primaire dans laquelle les ondulations sont continues au niveau des intersections entre les deux séries d'ondulations. La membrane étanche primaire peut aussi présenter deux séries d'ondulations mutuellement perpendiculaires avec des discontinuités des certaines ondulations au niveau des intersections entre les deux séries. Par exemple, les
15 interruptions sont réparties alternativement dans la première série d'ondulations et la deuxième série d'ondulations et, au sein d'une série d'ondulations, les interruptions d'une ondulation sont décalées d'un pas d'onde par rapport aux interruptions d'une ondulation parallèle adjacente.

Ce type de membrane étanche composée de plaques ondulées étant
20 moins sensible au phénomène de marche lors de la contraction thermique des barrières thermiquement isolantes 1, 3 et plus résistant aux sollicitations, il n'est pas nécessaire comme dans le mode de réalisation de la figure 10 de placer dans première zone un bloc isolant primaire 7 et un bloc isolant secondaire 5 hors de l'anneau de raccordement. De cette manière, la première zone 11 est constituée
25 uniquement des blocs isolants 5, 7 dans l'anneau de raccordement. La zone de transition 14 est alors directement adjacente à l'anneau de raccordement.

Dans un mode de réalisation non illustré, la première zone 11 peut également être un dôme gaz, un dôme gaz, ou une zone de fixation d'un pied de support pour une pompe. Par exemple dans le cas de la zone de fixation d'un pied
30 de support pour une pompe, la première zone 11 se trouve alors tout autour du pied de support et la membrane secondaire 2 est fixée à une aile d'ancrage 23 de la zone de fixation. La zone de transition 14 s'étend alors tout autour de la première zone 11.

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

5 En référence à la figure 19, une vue écorchée d'un navire méthanier 70 montre une cuve étanche et isolée 71 de forme générale prismatique montée dans la double coque 72 du navire. La paroi de la cuve 71 comporte une barrière étanche primaire destinée à être en contact avec le GNL contenu dans la cuve, une barrière étanche secondaire agencée entre la barrière étanche primaire et la double coque
10 72 du navire, et deux barrières isolante agencées respectivement entre la barrière étanche primaire et la barrière étanche secondaire et entre la barrière étanche secondaire et la double coque 72.

De manière connue en soi, des canalisations de chargement/déchargement 73 disposées sur le pont supérieur du navire peuvent
15 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 19 représente un exemple de terminal maritime comportant un poste de chargement et de déchargement 75, une conduite sous-marine 76 et une installation à terre 77. Le poste de chargement et de déchargement 75 est une
20 installation fixe off-shore comportant un bras mobile 74 et une tour 78 qui supporte le bras mobile 74. Le bras mobile 74 porte un faisceau de tuyaux flexibles isolés 79 pouvant se connecter aux canalisations de chargement/déchargement 73. Le bras mobile 74 orientable s'adapte à tous les gabarits de méthaniers. Une conduite de liaison non représentée s'étend à l'intérieur de la tour 78. Le poste de chargement et
25 de déchargement 75 permet le chargement et le déchargement du méthanier 70 depuis ou vers l'installation à terre 77. Celle-ci comporte des cuves de stockage de gaz liquéfié 80 et des conduites de liaison 81 reliées par la conduite sous-marine 76 au poste de chargement ou de déchargement 75. La conduite sous-marine 76 permet le transfert du gaz liquéfié entre le poste de chargement ou de
30 déchargement 75 et l'installation à terre 77 sur une grande distance, par exemple 5 km, ce qui permet de garder le navire méthanier 70 à grande distance de la côte pendant les opérations de chargement et de déchargement.

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

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

Ainsi, les exemples ci-dessus présentent une paroi de cuve comportant des
10 barrières isolantes formant des surfaces de support sensiblement planes dans une cuve à vide et présentant des différentiels d'épaisseurs entre différentes zones des parois de cuve lorsque la cuve est chargée en GNL. Cependant, l'agencement pourrait être inversé de sorte que les parois de cuves présentent des différentiels d'épaisseurs dans une cuve à vide et des surfaces de support planes lorsque la
15 cuve est chargée en GNL.

En outre, les exemples de réalisation de la zone de transition donnés ci-dessus peuvent être combinés entre eux, par exemple dans le cadre d'une zone de transition comportant une pluralité de blocs isolants primaires 7 et secondaires 5 de manière à générer une pluralité de sou-zones de la zone de transition 14 dont les
20 coefficients de contraction thermique sont croissants depuis la première zone 11 en direction de la deuxième zone 12.

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. L'usage de l'article indéfini « un » ou
25 « une » pour un élément ou une étape n'exclut pas, sauf mention contraire, la présence d'une pluralité de tels éléments ou étapes.

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

REVENDICATIONS

1. Cuve étanche et thermiquement isolante de stockage d'un fluide intégrée dans une structure porteuse (6), dans laquelle une paroi de cuve comporte dans une direction d'épaisseur :
- 5 une barrière thermiquement isolante secondaire (1) et une barrière thermiquement isolante primaire (3) constituées de modules isolants (5, 7, 17, 18, 26, 30, 36) juxtaposés, un module isolant (5, 7, 17, 18, 26, 30, 36) comportant un panneau de couvercle (10), un panneau de fond (9) et une garniture isolante (8) intercalée entre le panneau de fond (9) et le panneau de couvercle (10),
- 10 une membrane étanche primaire (4) reposant sur la barrière thermiquement isolante primaire (3), et
- une membrane étanche secondaire (2) reposant sur la barrière thermiquement isolante secondaire (1),
- la paroi de cuve comportant dans une direction de longueur :
- 15 - une première zone (11) dans laquelle les modules isolants (5, 7) comportent des entretoises se développant selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve entre le panneau de couvercle (10) et le panneau de fond (9) desdits modules isolants (5, 7), lesdites entretoises étant distribuées sur la surface du panneau de couvercle (10) et du panneau de fond (9) de sorte que le panneau
- 20 de fond (9) et le panneau de couvercle (10) desdits modules isolants (5, 7) sont maintenus à distance l'un de l'autre par lesdites entretoises,
- une deuxième zone (12) dans laquelle la garniture isolante (8) des modules isolants (5, 7) comporte une mousse isolante structurelle intercalée entre le
- 25 panneau de couvercle (10) et le panneau de fond (9) sur la surface du panneau de couvercle (10) et du panneau de fond (9) de sorte que le panneau de couvercle (10) desdits modules isolants (5, 7) est maintenu à distance du panneau de fond (9) par ladite mousse isolante structurelle ,
- une zone de transition (14) intercalée entre la première zone (11) et la
- 30 deuxième zone (12), dans laquelle les modules isolants (5, 7, 18, 26, 30, 36) sont constitués de manière que la paroi de cuve dans ladite zone de transition (14) présente au moins un paramètre choisi parmi le coefficient de contraction thermique et le module d'élasticité dans la direction d'épaisseur de la paroi de

cuve dont la valeur est comprise entre la valeur dudit au moins un paramètre de la première zone (11) de la paroi de cuve dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve et la valeur dudit au moins un paramètre de la deuxième zone (12) de la paroi de cuve dans la direction d'épaisseur de la paroi de cuve.

5 2. Cuve étanche et thermiquement isolante selon la revendication 1, dans laquelle la première zone (11) est agencée sur tout ou partie d'un pourtour de la paroi.

 3. Cuve étanche et thermiquement isolante selon la revendication 1, dans laquelle la première zone (11) est une zone d'angle de la cuve, un dôme gaz,
10 un dôme liquide ou une zone de fixation d'un pied de support pour une pompe

 4. Cuve étanche et thermiquement isolante selon l'une des revendications 1 à 3, dans laquelle les modules isolants (5, 7, 18, 26, 30, 36) de la zone de transition (14) comportent :

 - un premier module isolant (5, 26, 30) agencé dans la barrière
15 thermiquement isolante secondaire (1), le premier module isolant (5, 26, 30) présentant une première valeur dudit au moins un paramètre selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve, et
 - un deuxième module isolant (7, 18, 26, 36) agencé dans la barrière
20 thermiquement isolante primaire (3), le deuxième module isolant (7, 18, 26, 36) présentant une deuxième valeur dudit au moins un paramètre selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve, le premier module isolant (5, 26, 30) et le deuxième module isolant (7, 18, 26, 36) étant superposés dans le sens de l'épaisseur de la paroi de cuve.

25 5. Cuve étanche et thermiquement isolante selon la revendication 4, dans laquelle

 - l'un parmi le premier module isolant (5, 30) et le deuxième module isolant (7, 36) comporte des entretoises se développant selon une direction d'épaisseur de la paroi de cuve entre le panneau de
30 couvercle (10) et le panneau de fond (9) dudit module isolant, lesdites entretoises étant distribuées sur la surface du panneau de fond (9) et du panneau de couvercle (10) de sorte que le panneau de

fond (9) et le panneau de couvercle (10) dudit module isolant sont maintenus à distance l'un de l'autre par lesdites entretoises, et

- 5 - l'autre parmi le premier module isolant (5, 26) et le deuxième module isolant (7, 18, 26) comporte une mousse isolante structurale intercalée entre le panneau de couvercle (10) et le panneau de fond (9) sur la surface du panneau de couvercle (10) et du panneau de fond (9) de sorte que le panneau de couvercle (10) dudit autre module isolant est maintenu à distance du panneau de fond (9) dudit autre module isolant par ladite mousse isolante structurale.

10 6. Cuve étanche et thermiquement isolante selon la revendication 5, dans laquelle la valeur dudit au moins un paramètre de l'autre parmi le premier module isolant (5, 26) et le deuxième module isolant (7, 18, 26) est inférieure à la valeur dudit au moins un paramètre de l'un parmi le premier module isolant (5, 30) et le deuxième module isolant (7, 36).

15 7. Cuve étanche et thermiquement isolante selon l'une des revendications 4 à 6, dans laquelle la première zone (11) correspond à une zone d'angle de la cuve comprenant un anneau de raccordement, et la zone transition (14) est directement adjacente à l'anneau de raccordement, le deuxième module isolant (7, 18, 26) comporte une mousse isolante structurale intercalée entre le
20 panneau de couvercle (10) et le panneau de fond (9) sur la surface du panneau de couvercle (10) et du panneau de fond (9) de sorte que le panneau de couvercle (10) dudit autre module isolant est maintenu à distance du panneau de fond (9) dudit autre module isolant par ladite mousse isolante structurale.

 8. Cuve étanche et thermiquement isolante selon la revendication 7,
25 dans laquelle le premier module isolant comporte des entretoises se développant selon une direction d'épaisseur de la paroi de cuve entre le panneau de couvercle (10) et le panneau de fond (9) dudit module isolant, lesdites entretoises étant distribuées sur la surface du panneau de fond (9) et du panneau de couvercle (10) de sorte que le panneau de fond (9) et le panneau de couvercle (10) dudit module
30 isolant sont maintenus à distance l'un de l'autre par lesdites entretoises.

 9. Cuve étanche et thermiquement isolante selon la revendication 7 ou la revendication 8, dans laquelle les modules isolants (5, 7, 18, 26, 30, 36) de la zone de transition (14) comportent :

- un troisième module isolant (26) agencé dans la barrière thermiquement isolante secondaire (1), le troisième module isolant étant plus proche de la deuxième zone (12) que le premier module isolant (5, 26, 30) et présentant une troisième valeur dudit au moins un paramètre selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve,
- 5 - un quatrième module isolant (7, 18, 26, 36) agencé dans la barrière thermiquement isolante primaire (3), le quatrième module isolant (7, 18, 26, 36) étant plus proche de la deuxième zone (12) que le deuxième module isolant (7, 18, 26, 36) et présentant une quatrième valeur dudit au moins un paramètre selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve,
- 10 et dans laquelle la troisième valeur dudit au moins un paramètre du troisième module isolant (26) est comprise entre la première valeur dudit au moins un paramètre du premier module isolant (5, 26, 30) et la deuxième valeur dudit au moins un paramètre du deuxième module isolant (7, 18, 26, 36).

10. Cuve étanche et thermiquement isolante selon la revendication 9,
15 dans laquelle le troisième module isolant (26) est un module mixte comportant un panneau intermédiaire (20) agencé entre le panneau de fond et le panneau de couvercle, la garniture isolante comportant une garniture inférieure agencée entre le panneau intermédiaire et le panneau de fond et une garniture supérieure agencée entre le panneau intermédiaire et le panneau de couvercle, le module mixte ayant
20 un coefficient de dilatation thermique compris entre le coefficient de dilatation thermique d'un module isolant de la première zone (11) et le coefficient de dilatation thermique d'un module isolant de la deuxième zone (12).

11. Cuve étanche et thermiquement isolante selon la revendication 9 ou la revendication 10, dans laquelle le quatrième module isolant (7, 18, 26, 36) est
25 identique au deuxième module isolant (7, 18, 26, 36), de sorte que la quatrième valeur dudit au moins un paramètre est égale à la deuxième valeur dudit au moins un paramètre.

12. Cuve étanche et thermiquement isolante selon l'une des revendications 4 à 6, dans laquelle les modules isolants (5, 7, 18, 26, 30, 36) de la
30 zone de transition (14) comportent un troisième module isolant (26) agencé dans la barrière thermiquement isolante secondaire (1), le troisième module isolant étant plus proche de la deuxième zone (12) que le premier module isolant (5, 26, 30) et présentant une troisième valeur dudit au moins un paramètre selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve, et dans laquelle le deuxième module isolant (7, 18,

26) s'étend sur toute la longueur de la zone de transition dans la barrière thermiquement isolante primaire (3), la troisième valeur dudit au moins un paramètre du troisième module isolant (26) étant comprise entre la première valeur du premier module isolant (5, 26, 30) dudit au moins un paramètre et la deuxième valeur dudit au moins un paramètre du deuxième module isolant (7, 18, 26, 36).

13. Cuve étanche et thermiquement isolante selon la revendication 5, dans laquelle ledit autre parmi le premier module isolant et le deuxième module isolant (18) se développe conjointement dans la zone de transition (14) et dans la deuxième zone (12) de la paroi de cuve.

10 14. Cuve étanche et thermiquement isolante selon l'une des revendications 1 à 13, dans laquelle la zone de transition (14) présente un coefficient de contraction thermique selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve augmentant dans la direction de longueur de la paroi de cuve depuis la première zone (11) en direction de la deuxième zone (12) de la paroi de cuve.

15 15. Cuve étanche et thermiquement isolante selon l'une des revendications 1 à 14, dans laquelle la zone de transition (14) présente un module d'élasticité selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve diminuant dans la direction de longueur de la paroi de cuve depuis la première zone (11) en direction de la deuxième zone (12) de la paroi de cuve.

20 16. Cuve étanche et thermiquement isolante selon la revendication 14, dans laquelle le coefficient de contraction thermique selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve dans la zone de transition (14) augmente de façon continument progressive depuis la première zone (11) en direction de la deuxième zone (12).

25 17. Cuve étanche et thermiquement isolante selon l'une des revendications 1 à 16, dans laquelle un module isolant (7, 26) de la zone de transition (14) comporte une mousse isolante structurelle (27, 41, 42) intercalée entre le panneau de couvercle (10) et le panneau de fond (9) sur la surface du panneau de couvercle (10) et du panneau de fond (9) dudit module isolant (7, 26) de sorte que le panneau de couvercle (10) dudit module isolant (7, 26) est maintenu
30 à distance du panneau de fond (9) dudit module isolant par ladite mousse isolante structurelle (27, 41, 42), ladite mousse isolante structurelle (27, 41) présentant un coefficient de contraction thermique selon la direction d'épaisseur de la paroi de

cuve plus faible que le coefficient de contraction thermique selon ladite direction d'épaisseur de la mousse isolante structurelle de la deuxième zone (12).

18. Cuve étanche et thermiquement isolante selon la revendication 17, dans laquelle la mousse isolante structurelle (41, 42) dudit module isolant (7) de la zone de transition comporte une première portion (41) de mousse isolante structurelle et une deuxième portion (42) de mousse isolante structurelle, la première portion (41) de mousse isolante structurelle étant plus proche de la première zone (11) que la deuxième portion (42) de mousse structurelle, la première portion (41) de mousse isolante structurelle présentant un coefficient de contraction thermique selon la direction d'épaisseur de la cuve inférieur au coefficient de contraction thermique de la deuxième portion (42) de mousse isolante structurelle selon ladite direction d'épaisseur.

19. Cuve étanche et thermiquement isolante selon l'une des revendications 1 à 16, dans laquelle un module isolant (7, 26) de la zone de transition (14) comporte une mousse isolante structurelle (27, 41, 42) intercalée entre le panneau de couvercle (10) et le panneau de fond (9) sur la surface du panneau de couvercle (10) et du panneau de fond (9) dudit module isolant (7, 26) de sorte que le panneau de couvercle (10) dudit module isolant (7, 26) est maintenu à distance du panneau de fond (9) dudit module isolant par ladite mousse isolante structurelle (27, 41, 42), ladite mousse isolante structurelle (27, 41) présentant un module d'élasticité selon la direction d'épaisseur de la paroi de cuve plus important que le module d'élasticité selon ladite direction d'épaisseur de la mousse isolante structurelle de la deuxième zone (12).

20. Cuve étanche et thermiquement isolante selon la revendication 19, dans laquelle la mousse isolante structurelle (41, 42) dudit module isolant (7) de la zone de transition comporte une première portion (41) de mousse isolante structurelle et une deuxième portion (42) de mousse isolante structurelle, la première portion (41) de mousse isolante structurelle étant plus proche de la première zone (11) que la deuxième portion (42) de mousse structurelle, la première portion (41) de mousse isolante structurelle présentant un module d'élasticité selon la direction d'épaisseur de la cuve supérieur au module d'élasticité de la deuxième portion (42) de mousse isolante structurelle selon ladite direction d'épaisseur.

21. Cuve étanche et thermiquement isolante selon la revendication 17 ou 19, dans laquelle la mousse isolante structurelle (41, 42) dudit module (7) de la zone de transition est une mousse de polyuréthane renforcée de fibre, la première portion (41) de mousse isolante structurelle présentant une orientation des fibres
5 selon une direction d'épaisseur de la paroi de cuve et la deuxième portion (42) de mousse isolante structurelle présentant une orientation des fibres perpendiculaire à la direction d'épaisseur de la paroi de cuve..

22. Cuve étanche et thermiquement isolante selon la revendication 15, dans laquelle l'épaisseur de la première portion (41) diminue progressivement
10 depuis la première zone (11) en direction de la deuxième zone (12) et l'épaisseur de la deuxième portion augmente progressivement depuis la première zone (11) en direction de la deuxième zone (12).

23. Cuve étanche et thermiquement isolante selon l'une des revendications 1 à 20, dans laquelle les modules isolants de la zone de transition
15 comportent un module mixte (30, 36) comportant un panneau intermédiaire (34, 39) agencé entre le panneau de fond (9) et le panneau de couvercle (10), la garniture isolante (8) comportant une garniture inférieure agencée entre le panneau intermédiaire (34, 39) et le panneau de fond (9) et une garniture supérieure agencée entre le panneau intermédiaire (34, 39) et le panneau de couvercle (10),
20 le module mixte (30, 36) comportant des entretoises porteuses se développant selon une direction d'épaisseur de la paroi de cuve entre le panneau intermédiaire (34, 39) et l'un parmi le panneau de fond (9) et le panneau de couvercle (10), lesdites entretoises étant distribuées sur la surface du panneau intermédiaire (34, 39) et dudit un parmi le panneau de fond (9) et le panneau de couvercle (10) de
25 sorte que le panneau intermédiaire (34, 39) et ledit un parmi le panneau de fond (9) et le panneau de couvercle (10) sont maintenus à distance l'un de l'autre par lesdites entretoises porteuses,
la garniture isolante agencée entre le panneau intermédiaire (34, 39) et l'autre parmi le panneau de fond (9) et le panneau de couvercle (10) comportant une mousse
30 isolante structurelle distribuée sur la surface du panneau intermédiaire (34, 39) et dudit autre parmi le panneau de fond (9) et le panneau de couvercle (10) de sorte que le panneau intermédiaire (34, 39) et ledit autre parmi le panneau de fond (9) et

le panneau de couvercle (10) sont maintenus à distance par ladite mousse isolante structurelle.

24. Cuve étanche et thermiquement isolante selon la revendication 23, dans laquelle le panneau intermédiaire (39) se développe dans un plan incliné par rapport au panneau de fond (9) et au panneau de couvercle (10).

25. Cuve étanche et thermiquement isolante selon la revendication 23 ou la revendication 24, dans laquelle le panneau intermédiaire (39) est distant d'un bord du module mixte (36) situé proche de l'une parmi la première zone (11) et la deuxième zone (12).

26. Cuve étanche et thermiquement isolante selon l'une des revendications 1 à 25, dans laquelle les membranes étanches primaires et secondaires sont essentiellement constituées de bandes métalliques s'étendant dans la direction de longueur et présentant des bords longitudinaux relevés, les bords relevés de deux bandes métalliques adjacentes étant soudés deux à deux de manière à former de soufflets de dilatation autorisant une déformation de la membrane étanche dans une direction perpendiculaire à la direction de longueur, dans laquelle l'angle de la cuve comporte une aile d'ancrage (23) primaire et une aile d'ancrage secondaire, une première extrémité desdites ailes d'ancrage (23) étant ancrée à la structure porteuse (6) et une deuxième extrémité desdites ailes d'ancrage (23) étant soudée de manière étanche à la membrane d'étanchéité correspondante.

27. Cuve étanche et thermiquement isolante selon la revendication 26, dans laquelle la membrane d'étanchéité primaire comporte des ondulations s'étendant perpendiculairement aux bords relevés et disposées au droit de la première zone (11).

28. Cuve étanche et thermiquement isolante selon l'une des revendications 1 à 25, dans laquelle la membrane étanche secondaire (2) est essentiellement constituée de bandes métalliques s'étendant dans la direction de longueur et présentant des bords longitudinaux relevés, les bords relevés de deux bandes métalliques adjacentes étant soudés deux à deux de manière à former de soufflets de dilatation autorisant une déformation de la membrane étanche dans une direction perpendiculaire à la direction de longueur, dans laquelle l'angle de la cuve comporte une aile d'ancrage (23) secondaire, une première extrémité de ladite aile

d'ancrage (23) étant ancrée à la structure porteuse (6) et une deuxième extrémité de ladite aile d'ancrage (23) étant soudée de manière étanche à la membrane d'étanchéité secondaire, et dans laquelle la membrane étanche primaire (4) comporte des plaques métalliques ondulées.

5 29. Navire (70) pour le transport d'un produit liquide froid, le navire comportant une double coque (72) et une cuve (71) selon l'une des revendications 1 à 28 disposée dans la double coque.

 30. Procédé de chargement ou déchargement d'un navire (70) selon la revendication 29, dans lequel on achemine un produit liquide froid à travers des
10 canalisations isolées (73, 79, 76, 81) depuis ou vers une installation de stockage flottante ou terrestre (77) vers ou depuis la cuve du navire (71).

 31. Système de transfert pour un produit liquide froid, le système comportant un navire (70) selon la revendication 29, des canalisations isolées (73, 79, 76, 81) agencées de manière à relier la cuve (71) installée dans la coque du
15 navire à une installation de stockage flottante ou terrestre (77) 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.