

Paroi de cuve étanche et thermiquement isolante comportant des éléments porteurs espacés

L'invention se rapporte au domaine de la fabrication de cuves
5 étanches et thermiquement isolantes. En particulier, la présente invention se rapporte à des cuves destinées au stockage ou au transport de liquides froids ou chauds, par exemple des cuves pour le stockage et/ou le transport de gaz liquéfié par voie maritime.

Des cuves étanches et thermiquement isolantes peuvent être
10 utilisées dans différentes industries pour stocker des produits chauds ou froids. Par exemple, dans le domaine de l'énergie, le gaz naturel liquéfié (GNL) est un liquide qui peut être stocké à pression atmosphérique à environ -163°C dans des cuves de stockage terrestres ou dans des cuves embarquées dans des structures flottantes.

15 Une cuve pour stocker des produits chauds ou froids dans un navire est notamment décrite dans le document FR2877638. La cuve comporte une paroi de cuve qui présente, depuis l'intérieur vers l'extérieur de la cuve, une barrière étanche primaire, une barrière isolante primaire, une barrière étanche secondaire et une barrière isolante secondaire. Les barrières
20 isolantes sont constituées d'éléments calorifuges. Les éléments calorifuges comportent une garniture d'isolation thermique entre un panneau de fond et un panneau de couvercle. Des piliers traversent la garniture d'isolation entre le panneau de couvercle et le panneau de fond afin de former un élément calorifuge présentant une bonne résistance à la compression.

25 Selon un mode de réalisation, une paroi de cuve comporte depuis l'extérieur de la cuve vers l'intérieur de la cuve:

une paroi porteuse,
une barrière d'isolation thermique secondaire retenue sur la paroi
30 porteuse, la barrière d'isolation thermique étant constituée d'une pluralité d'éléments calorifuges secondaires juxtaposés de manière à former une surface de support secondaire,

une barrière d'isolation thermique primaire retenue sur la barrière d'isolation thermique secondaire, la barrière d'isolation thermique primaire étant constituée d'une pluralité d'éléments calorifuges primaires juxtaposés de manière à former une surface de support primaire,

5 une barrière d'étanchéité en appui sur la surface de support primaire,

chaque élément calorifuge primaire et chaque élément calorifuge secondaire comportant :

une garniture calorifuge ,
10 une pluralité d'éléments porteurs traversant la garniture calorifuge perpendiculairement à la paroi de cuve et

un panneau parallèle à la paroi de cuve agencé à une extrémité des éléments porteurs de l'élément calorifuge de manière à former une paroi extérieure de l'élément calorifuge,

15 dans laquelle au moins un parmi le panneau de l'élément calorifuge primaire et le panneau de l'élément calorifuge secondaire est agencé entre les éléments porteurs de la barrière d'isolation primaire et les éléments porteurs de la barrière d'isolation secondaire.

L'un des éléments porteurs ou un sous-ensemble des éléments porteurs,
20 notamment les éléments porteurs qui ne sont pas sur les bords, ou chaque élément porteur de la pluralité d'éléments porteurs de l'élément calorifuge primaire est espacé par rapport aux éléments porteurs sous-jacents de l'élément calorifuge secondaire dans une vue en projection dans un plan parallèle à la paroi de cuve. Au moins un élément porteur de la pluralité
25 d'éléments porteurs de l'élément calorifuge primaire ne se superpose pas aux éléments porteurs sous-jacents de l'élément calorifuge secondaire dans une vue en projection dans un plan parallèle à la paroi de cuve.

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

30 Selon des modes de réalisation, chaque élément porteur de la pluralité d'éléments porteurs de l'élément calorifuge primaire est positionné

en dehors de périmètres caractéristiques entourant les éléments porteurs sous-jacents de l'élément calorifuge secondaire.

Selon des modes de réalisation, les éléments porteurs sont des piliers de petite section dans le plan parallèle à la paroi de cuve par rapport aux dimensions de l'élément calorifuge.

Selon des modes de réalisation, les éléments calorifuges présentent une forme parallélépipédique et le périmètre caractéristique entourant un élément porteur est de forme rectangulaire, le périmètre comportant un premier coté parallèle à une direction de longueur de l'élément calorifuge, et un deuxième coté parallèle à une direction de largeur de l'élément calorifuge,

la dimension du premier côté du périmètre étant supérieure ou égale au double d'une première dimension caractéristique de la section du pilier selon la direction de longueur de l'élément calorifuge et

la dimension du deuxième côté du périmètre étant supérieure ou égale au double d'une deuxième dimension caractéristique de la section du pilier selon la direction de largeur de l'élément calorifuge.

Selon des modes de réalisation, les piliers présentent une section de forme rectangulaire, et le périmètre présente une forme rectangulaire centrée sur la section rectangulaire, les longs côtés du périmètre étant parallèles aux longs côtés de la section rectangulaire, les dimensions du périmètre étant égales au double des dimensions de la section rectangulaire.

Selon des modes de réalisation, les périmètres présentent une forme circulaire et sont centrés chacun sur un pilier, le rayon du périmètre étant égal à un diamètre caractéristique de la section du pilier.

Selon des modes de réalisation, les piliers d'un élément calorifuge sont agencés en rangées de piliers parallèles à un côté de l'élément calorifuge, une rangée de piliers de la barrière d'isolation thermique primaire étant à chaque fois positionnée dans ladite vue en projection à mi chemin entre deux rangées de piliers de la barrière d'isolation thermique secondaire.

Selon des modes de réalisation, un élément porteur de la barrière d'isolation thermique primaire est à chaque fois agencé dans ladite vue en projection en une position située à mi chemin entre deux éléments porteurs adjacents de la barrière d'isolation thermique secondaire.

- 5 Selon des modes de réalisation, l'élément calorifuge primaire comporte un panneau de fond s'étendant parallèlement à la paroi de cuve et portant les éléments porteurs de l'élément calorifuge primaire.

- Selon des modes de réalisation, l'élément calorifuge secondaire comporte un panneau de fond s'étendant parallèlement à la paroi de cuve
10 et portant les éléments porteurs de l'élément calorifuge secondaire.

- Selon des modes de réalisation, l'élément calorifuge secondaire comporte un panneau de couvercle s'étendant parallèlement à la paroi de cuve et porté par les éléments porteurs de l'élément calorifuge secondaire, le panneau de couvercle comportant une surface extérieure formant la
15 surface de support secondaire.

 Selon des modes de réalisation, le panneau de couvercle de l'élément calorifuge secondaire comporte :

 un panneau de répartition fixé sur les éléments porteurs et en appui sur les éléments porteurs,

- 20 un élément d'espacement en appui et fixé sur le panneau de répartition, l'élément d'espacement comportant une pluralité de poutres espacées les unes des autres et s'étendant parallèlement au panneau de répartition,

- un panneau supérieur parallèle au panneau de répartition, fixé et
25 supporté par la pluralité de poutres.

 Selon des modes de réalisation, l'élément calorifuge primaire comporte un panneau de couvercle s'étendant parallèlement à la paroi de cuve et porté par les piliers, le panneau de couvercle comportant :

- un panneau de répartition fixé sur les éléments porteurs et en appui sur les
30 éléments porteurs,

 un élément d'espacement en appui et fixé sur le panneau de répartition, l'élément d'espacement comportant une pluralité de poutres espacées les

unes des autres et s'étendant parallèlement au panneau de répartition,

un panneau supérieur parallèle au panneau de répartition, fixé et supporté par la pluralité de poutres, le panneau supérieur comportant une surface extérieure formant la surface de support primaire.

Selon des modes de réalisation, les poutres de la pluralité de poutre de l'élément calorifuge primaire sont perpendiculaires aux poutres de la pluralité de poutres de l'élément calorifuge secondaire.

Selon des modes de réalisation, un élément calorifuge primaire et un élément calorifuge secondaire présentent une forme parallélépipédique, et l'élément calorifuge primaire comporte des piliers d'ancrage primaires chacun agencé au niveau d'un coin de l'élément calorifuge primaire, l'élément calorifuge secondaire comportant des piliers d'ancrage secondaires chacun agencé au niveau d'un coin de l'élément calorifuge secondaire, les piliers d'ancrage primaires et les piliers d'ancrage secondaires étant superposés.

Selon des modes de réalisation, la paroi de cuve comporte en outre une barrière d'étanchéité secondaire en appui sur la surface de support secondaire de la barrière d'isolation thermique secondaire

Selon des modes de réalisation, la paroi de cuve comporte en outre une barrière d'étanchéité secondaire en appui sur la surface de support secondaire de la barrière d'isolation thermique secondaire.

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

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

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

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

Une idée à la base de l'invention est de fournir une paroi de cuve dans laquelle on agence un élément calorifuge primaire comportant des éléments porteurs sur un élément calorifuge secondaire comportant lui aussi des éléments porteurs, de manière que les éléments porteurs l'élément calorifuge primaire ne se superposent pas aux éléments porteurs de l'élément calorifuge secondaire. De cette manière, un panneau rigide supérieur du caisson primaire peut se déformer afin de répartir une charge sur des piliers voisins.

Certains aspects de l'invention partent de l'idée de déformer des panneaux des éléments calorifuges afin d'absorber élastiquement une charge, notamment pour préserver la tenue des éléments porteurs soumis à des chargements dynamiques, par exemple lors du ballotement du fluide dans la cuve.

Certains aspects de l'invention partent de l'idée de fournir un élément calorifuge présentant un bon compromis entre les performances thermomécaniques, notamment lors de sollicitations dynamiques, et le coût de mise en œuvre.

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
5 référence aux dessins annexés.

Sur ces dessins :

- La figure 1 est une vue partielle en perspective écorchée d'une paroi de cuve étanche et thermiquement isolante dans laquelle des éléments calorifuges selon des modes de réalisation de l'invention peuvent
10 être employés.
- La figure 2 est une représentation schématique en perspective écorchée d'un élément calorifuge qui peut être inclus dans la paroi de cuve de la figure 1 et qui comporte des piliers.
- La figure 3 est une vue schématique de côté de l'élément
15 calorifuge de la figure 2 lorsque celui-ci est soumis à un faible chargement.
- La figure 4 est une vue schématique de côté de l'élément calorifuge de la figure 2 lorsque celui-ci est soumis à un fort chargement.
- La figure 5 est une représentation schématique de côté des éléments calorifuges présentés de la figure 2 lorsque la paroi de cuve est
20 soumise à une charge locale.
- La figure 6 est une représentation schématique de côté des éléments calorifuges présentés dans la figure 2 lorsque la paroi de cuve est soumise à une charge étendue.
- La figure 7 est une vue en perspective d'éléments calorifuges de
25 la figure 2 superposés pour former une barrière thermiquement isolante primaire et une barrière thermiquement isolante secondaire de la paroi de cuve illustrée sur la figure 1.
- La figure 8 est une représentation schématique de la position des piliers de la barrière thermiquement isolante primaire et de la barrière
30 thermiquement isolante secondaire selon une projection dans un plan parallèle à la paroi de cuve.

- Les figures 9a à 9c sont des vues de dessus de piliers présentant des sections géométriquement différentes, et qui illustre des zones de non recouvrement s'étendant autour de piliers.
- La figure 10 est une représentation schématique écorchée d'une cuve de navire méthanier et d'un terminal de chargement/déchargement de cette cuve.

La figure 1 représente des parois étanches et isolantes d'une cuve intégrée dans une structure porteuse d'un navire.

10 La structure porteuse de la cuve est ici constituée par la coque interne d'un navire à double coque, dont on a représenté la paroi par le chiffre 1.

Une paroi de cuve est agencée à chaque fois sur une paroi 1 de la structure porteuse. Chaque paroi de cuve est réalisée par superposition
15 successivement d'une couche d'isolation thermique secondaire 2, d'une barrière étanche secondaire 3, d'une couche d'isolation thermique primaire 4 et d'une barrière étanche primaire 5.

La couche d'isolation primaire 4 et la couche d'isolation secondaire 2 sont formées d'une pluralité de caissons calorifuges parallélépipédiques 6
20 et 7 juxtaposés selon un motif régulier. Les caissons calorifuge secondaires 6 et les caissons calorifuges primaires 7 forment ainsi une surface sensiblement plane qui porte respectivement la barrière étanche secondaire 3 et la barrière étanche primaire 5.

Les caissons isolants secondaires 6 et les caissons isolants primaires 7
25 sont ancrés à la paroi porteuse 1 par l'intermédiaire d'organes d'ancrage 8 et 9. En particulier, les organes d'ancrage 8 de la couche d'isolation thermique secondaire 2 sont fixés à la paroi porteuse 1 par l'intermédiaire de goujons 10 soudés perpendiculairement à la paroi porteuse 1. Comme on peut l'observer sur la figure 1, des organes d'ancrage 8 et 9 sont positionnés
30 au niveau des coins des caissons 6 et 7. Ainsi, un organe d'ancrage 8 ou 9 situé au niveau d'un coin de caisson peut maintenir quatre caissons 6 ou 7

adjacents. D'autres organes d'ancrage 8 et 9 sont agencés dans une zone centrale des caissons 6 et 7.

La barrière étanche secondaire 3 et la barrière étanche primaire 5 sont constituées de virures en invar 11 parallèles. Ces virures en invar 11 sont disposées alternativement avec des supports de soudure 13 allongés, également en invar et comportent des bords 12 qui sont relevés vers l'intérieur de la cuve.

En particulier, chaque support de soudure 13 présente la forme d'une bande en invar pliée pour présenter une section en L. Les supports de soudure 13 sont retenus à la couche d'isolation 2 ou 4 sous-jacente en étant logés de manière coulissante dans des rainures en forme de T inversé 15 ménagées dans des panneaux de couvercle 14 des caissons 6 et 7. Ainsi, une portion de la bande en L s'étend en saillie de la rainure en T vers l'intérieur de la cuve et perpendiculairement à la paroi porteuse 1. Les bords relevés 12 des virures en invar 11 sont soudés le long de la portion en saillie des supports de soudures 13.

Les figures 2 à 4 illustrent la structure d'un caisson 16 qui peut être mis en œuvre dans une telle paroi de cuve.

Le caisson 16 comporte un panneau de fond 17 sur lequel sont fixées des semelles de répartition 18. Une rangée de piliers 19 ou 23 s'appuie et est fixée à chaque fois sur une semelle de répartition 18 correspondante. En particuliers, les piliers 20 de chaque rangée de pilier 19 ou 23 s'étendent selon l'épaisseur du caisson 16 et donc selon une direction perpendiculaire à la paroi porteuse 1. Les piliers 20 présentent une section pleine rectangulaire. Chaque rangée de piliers 19 ou 23 est parallèle par rapport à un côté latéral 21 du caisson 16. Les rangées de piliers portent un panneau de couvercle renforcé 22. Les piliers 20 permettent notamment la transmission des contraintes exercées sur le panneau de couvercle 22 à la paroi 1 et ont donc une fonction de résistance à la compression.

Les rangées de piliers 19 et 23 successives sont décalées les unes par rapport aux autres. En effet, les piliers 20 des deux rangées successives 19 et

23 comportent des piliers 20 espacés selon un même espacement régulier, toutefois, les deux rangées de piliers 19 et 23 sont décalées dans le sens de leur longueur d'un demi-espacement.

Une garniture calorifuge, non représentée, remplit l'espace entre les piliers 20 et peut par exemple être constituée d'une mousse isolante coulée entre les piliers 20 ou un bloc de mousse usiné pour s'adapter aux piliers 20.

Le panneau de couvercle renforcé 22 comporte un panneau supérieur 24 et un panneau inférieur 25 chacun présentant une épaisseur de 6,5cm. Le panneau supérieur 24 et le panneau inférieur 25 sont espacés par une série de poutres pleines 26 parallèles. En particulier, les poutres 26 s'étendent parallèlement au côté latéral 21 du caisson 16. Une poutre 26 est à chaque fois positionnée le long et au dessus d'une rangée de piliers 19 ou 23. Les poutres 26 présentent une section rectangulaire et une épaisseur de 6,5cm. Les poutres 26 et les panneaux 24 et 25 sont liés rigidement. Un tel couvercle renforcé permet en partie de répartir une charge exercée sur le couvercle sur plusieurs piliers, grâce à sa rigidité.

Chaque poutre 26 est espacée des autres poutres 26 de manière à délimiter un espace entre deux poutres 26 et entre les panneaux 24 et 25. Ces espaces forment des canaux de circulation pour les fluides entre les côtés de l'élément calorifuge. La juxtaposition de caissons calorifuges 16 permet ainsi de former un circuit dans la paroi de la cuve dans lequel il est possible d'injecter un gaz neutre pour neutraliser la paroi de la cuve et ainsi éviter tout risque d'explosion en cas de fuite en présence d'oxygène. Par ailleurs, un tel circuit gaz permet la détection de fuite dans les barrières étanches 3 et 5. Pour améliorer les capacités de résistance thermique du caisson isolant 16, une garniture calorifuge poreuse peut être mise en place dans les canaux de circulation.

Les figures 3 et 4, illustrent le comportement du caisson lorsqu'il est posé sur une surface rigide, chacune des figures 3 et 4 représentant une charge d'intensité différente.

La figure 3 représente schématiquement de côté le caisson 16 lorsqu'il est soumis à une faible charge ponctuelle 27 au droit d'un pilier central 28, la base des piliers 20 étant fixe.

On remarque que dans ce cas le panneau de couvercle renforcé 22 se déforme peu. La majeure partie de l'effort 29 correspondant à la charge est repris par le pilier central 28. Une petite partie de la charge 30 exercée au droit du pilier central 28 est reprise par les piliers adjacents 31 voisins par rapport à la position où s'exerce l'effort 27. En effet, la rigidité du couvercle renforcé 22 et du pilier central empêche la déformation du couvercle 22. Ainsi, peu d'efforts (indiqués par les flèches 30) sont repris par les piliers adjacents 31.

La figure 4 illustre ce même caisson lorsqu'une charge plus importante 32 est appliquée au droit du pilier central 28. Dans ce cas, le pilier central 28 est soumis à de fortes contraintes entraînant notamment sa sollicitation en flexion. Ces fortes contraintes provoquent un léger affaissement du pilier central 28 et donc une légère déformation du panneau de couvercle renforcé 22. Cette légère déformation du panneau de couvercle renforcé 22 permet de mieux répartir la charge sur les piliers adjacents 31 par rapport à la charge. Toutefois, le pilier 28 présentant une rigidité importante, son affaissement reste relativement faible. Ainsi, la déformation du panneau 22 est de faible amplitude et la charge est donc faiblement répartie sur les piliers adjacents 31. De plus, des contraintes trop importantes exercées sur le pilier central 28 peuvent provoquer la rupture de ce pilier 28.

Afin d'améliorer la répartition de la charge au sein de la paroi de cuve présenté dans la figure 1, on agence les piliers 20 de manière à permettre leur affaissement de manière plus significative. En particulier, les piliers des caissons primaires 7 ne sont pas superposés aux piliers de caissons secondaires 6. L'avantage d'une telle disposition des piliers de la couche d'isolation thermique primaire et de la couche d'isolation thermique secondaire sera mieux compris en se référant aux figures 5 et 6.

Un tel agencement est notamment présenté dans la figure 5 qui illustre schématiquement de côté des caissons formant la couche d'isolation primaire 4 et la couche d'isolation secondaire 2 de la paroi de cuve de la figure 1.

5 En particulier, on remarque qu'un caisson 16 constitue un caisson calorifuge primaire 7 de la barrière thermique primaire 4 et que la couche d'isolation secondaire comporte un caisson calorifuge secondaire 6 qui présente une structure différente du caisson 16.

En effet, le caisson secondaire 6 comporte un panneau de dessous 10 33, un panneau de dessus 34 et une garniture calorifuge 35 agencée entre le panneau de dessus 34 et le panneau de dessous 33. Sur la figure, on voit que des échelles de piliers 36 traversent la garniture calorifuge 35. Les échelles de piliers 36 sont formées chacune d'une rangée de piliers secondaires 37 attachés en leurs extrémités entre une latte supérieure 38 et 15 une latte inférieure 39 s'étendant chacune le long de la rangée de piliers 37. De la même manière que les piliers 20 du caisson 16, les échelles de piliers 36 permettent de reprendre une partie des efforts de compression subits par la paroi de cuve.

On remarque que le caisson primaire 7 est positionné en appui sur le 20 caisson secondaire 6 de manière qu'une rangée de piliers 19 ou 23 est à chaque fois positionnée à mi-chemin de deux échelles de piliers 36. En particulier, un pilier primaire 40 est ici positionné à chaque fois entre deux piliers secondaires 37.

Une telle disposition favorise une meilleure répartition de la charge 25 exercée sur les piliers. En effet, de manière analogue aux figures 3 et 4, une charge ponctuelle 41 est représentée sur la figure 5. Cette charge ponctuelle 41 est exercée sur un pilier central 28 du caisson primaire. Comme le pilier central est positionné entre deux échelles de piliers 36 du caisson secondaire, le panneau de fond 17 et le panneau de dessus 33 s'affaissent 30 sous la contrainte exercée par le pilier central 28. Cette déformation élastique est illustrée par les lignes 42 et 43 illustrant respectivement la déformation du panneau de dessus 34 et du panneau de fond 17. Ainsi, le

pilier central 28 est positionné sur une surface souple, ce qui lui permet de s'abaisser. Ce déplacement permet la déformation élastique du panneau de couvercle renforcé 22 qui génère ainsi un effort sur les piliers voisins. Les lignes 44 illustrent la déformation du panneau supérieur 24 et du panneau inférieur 25 qui présentent ainsi chacun une flèche orientée vers la paroi porteuse 1 au niveau du pilier central 28. Cette déformation permet de mieux répartir la charge sur les piliers latéraux comme cela est indiqué par les flèches 45.

10 La figure 6 illustre la même paroi de cuve et permet de mettre en évidence un autre avantage d'une telle disposition des piliers primaires et secondaires.

En effet, la figure 6 illustre la paroi de cuve lorsqu'elle est soumise à une charge 46 répartie sur plusieurs piliers. Une telle charge peut intervenir par exemple dans le cas du ballotement du fluide dans la cuve. Un tel ballotement se traduit par une masse de fluide qui vient heurter une paroi de la cuve.

Dans ce cas, similairement à la figure 5, le panneau de fond 17 du caisson primaire 7 et le panneau de dessus du caisson secondaire 6 se déforment élastiquement sous la contrainte exercée par les piliers primaires 40 et l'appui formé par les piliers secondaires 37. Ces déformations sont illustrées par les lignes 47. Ces panneaux 17 et 33 présentent donc des portions situées entre chaque échelle de piliers et présentant une flèche orientée vers la paroi porteuse. Les piliers primaires 40 situés au dessus de ces flèches s'approchent de la paroi porteuse. Ainsi, le panneau de couvercle renforcé 22 se déforme de manière élastique similairement aux panneaux 17 et 33 comme cela est représenté par les lignes 48.

Ces déformations élastiques des caissons primaires 7 et des caissons secondaires 6 permettent ainsi de reprendre élastiquement une partie de l'énergie issue des chocs subits par la paroi de cuve, par exemple suite au ballotement ou la chute d'un élément lourd dans la cuve. Cette énergie est ensuite restituée après le choc, à la manière d'un amortisseur.

Par ailleurs, cet agencement des piliers permet d'éviter le poinçonnement des pièces composant les caissons par les piliers 40 et 37, notamment des semelles de répartition 18 et des panneaux. De plus cette déformation élastique permet d'éviter la rupture des piliers 40 et 37 lorsque la paroi de cuve subit des contraintes dynamiques importantes. Ainsi, avec un tel agencement des piliers primaires 40 et des piliers secondaires 37, les caissons 6 et 7 jouent ainsi un rôle de « matelas » amortissant les charges exercées sur la paroi de cuve.

Un autre mode de réalisation de la paroi de cuve va maintenant être présenté en référence à la figure 7.

Dans cette figure, seul un caisson 7 de la couche isolante primaire 4 et un caisson 6 de la couche isolante secondaire 2 sont représentés. On remarque que les deux couches isolantes 2 et 4 sont constituées de caissons 16. Les caissons 16 sont superposés de manière décalée. Ainsi, les piliers primaires 40 et les piliers secondaires 140 ne sont pas superposés.

La position des piliers 40 et 140 est représentée sur la figure 8. En effet, la figure 8 est une projection partielle vue de dessus des piliers primaires 40 et des piliers secondaires 140 sur un plan parallèle à la paroi de cuve. Seuls neuf piliers 40 et 140 adjacents sont ici représentés, ce qui correspond à une partie des piliers des caissons 6 et 7 de la figure 7.

Un pilier primaire 40 est à chaque fois présent entre quatre piliers secondaires 140 adjacents. Plus précisément, un pilier secondaire 140 est positionné à mi chemin entre deux piliers primaire 40 d'une même rangée de piliers.

En revenant à la figure 7, on remarque que l'orientation des rangées de piliers 19 et 23 est différente entre les deux caissons 6 et 7. En effet les rangées de piliers 19 et 23 des caissons primaires 7 sont perpendiculaires aux rangées de piliers 19 et 23 des caissons secondaires 6. Cette orientation est notamment visible grâce aux semelles de répartition 18 et 118 qui sont perpendiculaires. De manière analogue, les poutres 26 et 126 sont perpendiculaires.

Par ailleurs, on peut voir les rainures en forme de T inversé 15 destinées à recevoir les supports de soudure 13. Par ailleurs, des encoches (non représentées) sont réalisées dans le panneau de fond 17 et éventuellement dans les semelles de répartition 18 et les piliers 20. Ces encoches permettent de recevoir les supports de soudure 13 et les bords relevés de la barrière étanche secondaire 3. Des piliers de coin 49 sont présents chacun au niveau d'un coin des caissons 16. Ces piliers de coin 49 présentent une section trapézoïdale. Ainsi, lorsque quatre caissons 16 sont juxtaposés en un coin, les piliers de coins 49 forment une cheminée permettant le montage d'un organe d'ancrage, notamment des coupleurs, s'étendant le long des piliers 49 adjacents et s'appuyant sur un plat 51 pour maintenir le caisson 16 ancré contre la paroi porteuse 1.

Toutefois, dans d'autre mode de réalisation, les caissons sont superposés pour que les piliers de coins 49 soient superposés afin de garantir une certaine rigidité pour recevoir les contraintes exercées par les organes d'ancrage. Dans ces autres modes de réalisation, le positionnement des piliers dans le caisson primaire 7 et le positionnement des piliers dans le caisson secondaire 6 sont différents pour que ceux-ci soient espacés lorsque les caissons 6 et 7 sont superposés.

Il n'est pas nécessaire que les piliers d'un premier niveau de caissons, par exemple de la couche isolante primaire, soient situés à chaque fois à mi-chemin entre deux piliers d'un second niveau, par exemple la couche isolante secondaire. En effet une disposition satisfaisante peut être obtenue notamment lorsque les piliers d'un niveau ne sont pas superposés aux piliers du niveau inférieur ou supérieur et sont positionnés à une certaine distance de ceux-ci. Par exemple, les piliers de la couche isolante primaire doivent de préférence se situer en dehors d'une zone de non recouvrement 52 des piliers secondaires 140. Une telle zone de non recouvrement 52 est représentée dans la figure 8. La zone est définie, dans la projection selon le plan parallèle à la paroi de cuve, par un périmètre rectangulaire 53 s'étendant autour du pilier secondaire 140. Ainsi, les piliers secondaires 140

sont à une distance suffisante des piliers primaires 40 pour permettre le fléchissement des panneaux et éviter le cisaillement des panneaux par les piliers.

5 D'autres types de piliers sont représentés sur les figures 9a à 9d qui illustrent la section de ceux-ci au niveau de leurs extrémités sur lesquelles s'appuient les panneaux, ainsi que leurs zones de non recouvrement respectives.

10 En particuliers, la figure 9a représente un pilier de section triangulaire 54. Un cercle circonscrit de la section triangulaire 54 est illustré. Le périmètre 55 formant la zone de non recouvrement consiste en un cercle centré sur le centre de gravité de la section triangulaire 54 et dont le rayon est égal au diamètre du cercle circonscrit de la section triangulaire.

15 La figure 9c présente un périmètre circulaire similaire correspondant à un pilier de section circulaire 56. De manière analogue au périmètre 55, un périmètre circulaire 57 délimite la zone de non recouvrement. Le périmètre circulaire 57 présente un rayon égal au diamètre de la section 56 du pilier et est concentrique par rapport au pilier.

20 La figure 9b présente un pilier de section rectangulaire 58. La zone de non-recouvrement est formée par un périmètre 59 rectangulaire dont les longs côtés sont parallèles aux longs côtés de la section rectangulaire 58. Le périmètre rectangulaire 59 est centré sur la section rectangulaire 58 du pilier et présente des dimensions qui sont égales au double des dimensions C1 et C2 de la section rectangulaire 58.

25 Similairement à la figure 9b, la figure 9d illustre une zone de non recouvrement rectangulaire. Cette zone de non-recouvrement correspond à un pilier présentant une section de forme quelconque 60. La largeur D4 correspond à la dimension de la section selon une direction de longueur 62 du caisson comportant le pilier et la longueur D3 correspond à la largeur du pilier selon une direction de largeur 63 du caisson. Le rectangle formant le
30 périmètre 61 de la zone de non-recouvrement présente des dimensions correspondant au double des longueurs D4 et D3 et est centré sur le centre

de la section, le centre correspondant au milieu des dimensions D4 et D3 prises sur la section du pilier.

Alternativement, les piliers peuvent être creux pour augmenter leur résistance thermique et peuvent également être remplis d'un matériau isolant. Dans d'autres modes de réalisation, les piliers peuvent présenter une section en H.

Les piliers peuvent être obtenus par exemple à l'aide de matériaux thermoplastiques ou thermodurcissables, éventuellement renforcés de fibres ou peuvent être réalisés en bois ou en contreplaqué.

Bien entendu, la répartition des poutres 26 par rapport aux piliers peut être différente. Par exemple les poutres 26 ne sont pas nécessairement positionnées au droit des rangées de piliers 19 et 23 mais peuvent être disposées entre les rangées de piliers 19 et 23.

Dans d'autres modes de réalisation, les piliers des caissons peuvent être remplacés par des plaques d'entretoises. De tels caissons sont notamment décrits dans le document FR2798902A1. Dans ce cas, une plaque d'entretoise de la couche isolante primaire est à chaque fois positionnée entre deux plaques d'entretoise de la couche isolante secondaire afin que celles-ci ne se superposent pas.

Il est également possible, dans certaines parois de cuve, de superposer plus de deux niveaux de caisses calorifuges présentant des piliers. Par exemple, une barrière isolante secondaire peut comporter deux couches de caissons calorifuges. Dans ce cas, l'agencement des piliers peut également être réalisé de manière que deux caissons calorifuges superposés directement ne présentent pas de superposition de piliers.

Le caisson décrit ci-dessus peut être fabriqué de diverses manières. Par exemple dans un premier procédé de fabrication du caisson 16, le panneau de fond 17, les lattes 18 et les piliers 20 sont assemblés par agrafage. La garniture calorifuge est ensuite insérée ou injectée entre les piliers. Le panneau inférieur 25 est agrafé aux piliers 20 dans un processus manuel ou automatisé, puis les poutres 26 sont agrafées au panneau

inférieur 25. Une éventuelle garniture calorifuge poreuse est insérée entre les poutres 26, et le panneau supérieur 24 est enfin agrafé sur les poutres 26.

La fixation des piliers, panneaux et éléments d'espacement entre les panneaux inférieur et supérieur peut être réalisée par des vis. Toutefois, il est
5 aussi possible de réaliser leur liaison par collage, agrafage ou clouage.

Les panneaux, poutres et piliers peuvent être réalisés en contreplaqué ou en bois massif, par exemple en bouleau, hêtre ou sapin. Ces éléments peuvent aussi être réalisés en bambou, en matériau composites, en plastique ou en métal.

10

Tout type de garniture calorifuge 35 peut être utilisé pour réaliser les caissons décrits ci-dessus. Typiquement, une telle garniture 35 peut par exemple consister en un bloc de mousse usiné, ou une mousse coulée entre les piliers. Une telle mousse peut être renforcée ou non à l'aide par exemple
15 de fibre de verre et peut être notamment une mousse polyuréthane. Alternativement, la garniture peut être constituée d'un matériau à porosité d'ordre de grandeur nanométrique de type aérogel. Les aérogels peuvent être conditionnés sous différentes formes, par exemple sous la forme de poudre, de billes, de fibres non tissées, de tissu, etc.

20 Les types de caissons présentés ci-dessus peuvent être mis en œuvre dans la couche d'isolation primaire 4 et/ou dans la couche d'isolation secondaire 2.

Les panneaux de couvercle renforcés présentés ci-dessus peuvent être remplacés par des panneaux de couvercle renforcés présentant une
25 architecture différente. Par exemple, les panneaux de couvercles renforcés peuvent être remplacés par des panneaux de couvercle renforcés décrit dans la demande de brevet français déposée sous le numéro 1255316. Le panneau de couvercle renforcé peut aussi être remplacé par un couvercle rigide simple ou constitué de deux plaques qui sont superposées
30 directement. Le panneau du caisson primaire en appui sur les piliers primaire peut présenter une épaisseur entre 12 et 80mm.

Les cuves décrites ci-dessus peuvent être utilisées dans différents types d'installations telles que des installations terrestres ou dans un ouvrage flottant comme un navire méthanier ou autre.

En référence à la figure 10, une vue écorchée d'un navire méthanier 5 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 du navire, et deux barrières 10 thermiquement isolantes 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 disposées sur le pont supérieur du navire 15 peuvent être raccordées, au moyen de connecteurs appropriés, à un terminal maritime ou portuaire pour transférer une cargaison de GNL depuis ou vers la cuve 71.

La figure 10 représente un exemple de terminal maritime comportant un poste de chargement et de déchargement 75, une 20 conduite sous-marine 76 et une installation à terre 77. Le poste de chargement et de déchargement 75 est une installation fixe off-shore comportant un bras mobile 74 et une tour 78 qui supporte le bras mobile 74. Le bras mobile 74 porte un faisceau de tuyaux flexibles isolés 79 pouvant se connecter aux canalisations de chargement/déchargement 73. Le bras 25 mobile 74 orientable s'adapte à tous les gabarits de méthaniers. Une conduite de liaison non représentée s'étend à l'intérieur de la tour 78. Le poste de chargement et de déchargement 75 permet le chargement et le déchargement du méthanier 70 depuis ou vers l'installation à terre 77. Celle-ci comporte des cuves de stockage de gaz liquéfié 80 et des conduites de 30 liaison 81 reliées par la conduite sous-marine 76 au poste de chargement ou de déchargement 75. La conduite sous-marine 76 permet le transfert du gaz liquéfié entre le poste de chargement ou de déchargement 75 et

l'installation à terre 77 sur une grande distance, par exemple 5 km, ce qui permet de garder le navire méthanier 70 à grande distance de la côte pendant les opérations de chargement et de déchargement.

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.

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.

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 «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 intégrée dans une structure porteuse pour contenir un fluide, dans laquelle une paroi de cuve comporte depuis l'extérieur de la cuve vers l'intérieur de la cuve:
- 5 une paroi porteuse (1),
une barrière d'isolation thermique secondaire (2) retenue sur la paroi porteuse, la barrière d'isolation thermique étant constituée d'une pluralité d'éléments calorifuges secondaires (6) juxtaposés de manière à former une surface de support secondaire,
- 10 une barrière d'isolation thermique primaire (4) retenue sur la barrière d'isolation thermique secondaire (2), la barrière d'isolation thermique primaire étant constituée d'une pluralité d'éléments calorifuges primaires (7) juxtaposés de manière à former une surface de support primaire,
une barrière d'étanchéité (5) en appui sur la surface de support primaire,
- 15 chaque élément calorifuge primaire et chaque élément calorifuge secondaire comportant :
une garniture calorifuge (35),
une pluralité d'éléments porteurs (20, 28, 37, 40, 140) traversant la garniture calorifuge perpendiculairement à la paroi de cuve et
- 20 un panneau (17, 34, 122) parallèle à la paroi de cuve agencé à une extrémité des éléments porteurs de l'élément calorifuge de manière à former une paroi extérieure de l'élément calorifuge,
dans laquelle au moins un parmi le panneau de l'élément calorifuge primaire et le panneau de l'élément calorifuge secondaire est agencé entre
- 25 les éléments porteurs de la barrière d'isolation primaire et les éléments porteurs de la barrière d'isolation secondaire,
caractérisé en ce que
dans une vue en projection dans un plan parallèle à la paroi de cuve, au moins un élément porteur (20, 28, 40) de la pluralité d'éléments porteurs de
- 30 l'élément calorifuge primaire est espacé par rapport aux éléments porteurs (20, 37, 140) sous-jacents de l'élément calorifuge secondaire dans laquelle ledit au moins un élément porteur de la pluralité d'éléments porteurs de

l'élément calorifuge primaire ne se superpose pas aux éléments porteurs sous-jacents de l'élément calorifuge secondaire.

2. Cuve selon la revendication 1, dans laquelle les éléments porteurs (20, 28, 37, 40, 140) sont des piliers de petite section dans le plan
5 parallèle à la paroi de cuve par rapport aux dimensions de l'élément calorifuge (6, 7).

3. Cuve selon la revendication 2, dans laquelle chaque pilier (20, 28, 40) de la pluralité de piliers de l'élément calorifuge primaire est positionné en dehors de périmètres caractéristiques (53, 55, 59, 57, 61)
10 entourant les piliers sous-jacents (20, 37, 140) de l'élément calorifuge secondaire et dans laquelle les éléments calorifuges (6, 7, 16) présentent une forme parallélépipédique et dans laquelle le périmètre (59, 61) caractéristique entourant un pilier est de forme rectangulaire, le périmètre comportant un premier côté parallèle à une direction de longueur (21) de
15 l'élément calorifuge, et un deuxième côté parallèle à une direction de largeur de l'élément calorifuge,

la dimension du premier côté du périmètre étant supérieure ou égale au double d'une première dimension caractéristique (C1, D4) de la section du pilier selon la direction de longueur (62) de l'élément calorifuge et
20 la dimension du deuxième côté du périmètre étant supérieure ou égale au double d'une deuxième dimension caractéristique (C2, D3) de la section du pilier selon la direction de largeur (63) de l'élément calorifuge.

4. Cuve selon la revendication 2, dans laquelle chaque pilier (20, 28, 40) de la pluralité de piliers de l'élément calorifuge primaire est positionné en dehors de périmètres caractéristiques (53, 55, 59, 57, 61)
25 entourant les piliers sous-jacents (20, 37, 140) de l'élément calorifuge secondaire et dans laquelle les piliers présentent une section de forme rectangulaire (58), et dans laquelle le périmètre (59) présente une forme rectangulaire centrée sur la section rectangulaire (58), les longs côtés du périmètre étant parallèles aux longs côtés de la section rectangulaire (58),
30 les dimensions du périmètre (59) étant égales au double des dimensions (C1, C2) de la section rectangulaire (58).

5. Cuve selon la revendication 2, dans laquelle chaque pilier (20, 28, 40) de la pluralité de piliers de l'élément calorifuge primaire est positionné en dehors de périmètres caractéristiques (53, 55, 59, 57, 61) entourant les piliers sous-jacents (20, 37, 140) de l'élément calorifuge
5 secondaire et dans laquelle les périmètres (55, 57) présentent une forme circulaire et sont centrés chacun sur un pilier (54, 56), le rayon du périmètre (55, 57) étant égal à un diamètre caractéristique (D1, D2) de la section du pilier.

6. Cuve selon l'une des revendications 2 à 5, dans laquelle les
10 piliers d'un élément calorifuge sont agencés en rangées de piliers (19, 23, 36) parallèles à un côté (21) de l'élément calorifuge, une rangée de piliers de la barrière d'isolation thermique primaire étant à chaque fois positionnée dans ladite vue en projection à mi chemin entre deux rangées de piliers de la barrière d'isolation thermique secondaire.

15 7. Cuve selon l'une des revendications 1 à 6, dans laquelle un élément porteur de la barrière d'isolation thermique primaire est à chaque fois agencé dans ladite vue en projection en une position située à mi chemin entre deux éléments porteurs adjacents de la barrière d'isolation thermique secondaire.

20 8. Cuve selon l'une des revendications 1 à 7, dans laquelle l'élément calorifuge primaire comporte un panneau de fond (17) s'étendant parallèlement à la paroi de cuve et portant les éléments porteurs de l'élément calorifuge primaire.

25 9. Cuve selon l'une des revendications 1 à 8, dans laquelle l'élément calorifuge secondaire comporte un panneau de fond (17) s'étendant parallèlement à la paroi de cuve et portant les éléments porteurs de l'élément calorifuge secondaire.

30 10. Cuve selon l'une des revendications 1 à 9, dans laquelle l'élément calorifuge secondaire comporte un panneau de couvercle (34, 122) s'étendant parallèlement à la paroi de cuve et porté par les éléments porteurs de l'élément calorifuge secondaire, le panneau de couvercle

comportant une surface extérieure formant la surface de support secondaire.

11. Cuve selon la revendication 10 dans laquelle le panneau de couvercle de l'élément calorifuge secondaire comporte :

5 un panneau de répartition (25) fixé sur les éléments porteurs et en appui sur les éléments porteurs,

un élément d'espacement en appui et fixé sur le panneau de répartition, l'élément d'espacement comportant une pluralité de poutres (126) espacées les unes des autres et s'étendant parallèlement au panneau de répartition,

10 un panneau supérieur (24) parallèle au panneau de répartition, fixé et supporté par la pluralité de poutres.

12. Cuve selon l'une des revendications 1 à 11, dans laquelle l'élément calorifuge primaire (7) comporte un panneau de couvercle s'étendant parallèlement à la paroi de cuve et porté par les piliers, le

15 panneau de couvercle comportant :
un panneau de répartition (25) fixé sur les éléments porteurs et en appui sur les éléments porteurs,

un élément d'espacement en appui et fixé sur le panneau de répartition, l'élément d'espacement comportant une pluralité de poutres (26) espacées les unes des autres et s'étendant parallèlement au panneau de répartition,

un panneau supérieur (24) parallèle au panneau de répartition, fixé et supporté par la pluralité de poutres, le panneau supérieur comportant une surface extérieure formant la surface de support primaire.

13. Cuve selon les revendications 11 et 12 prises en combinaison, dans laquelle les poutres (26) de la pluralité de poutre de l'élément calorifuge primaire sont perpendiculaires aux poutres (126) de la pluralité de poutres de l'élément calorifuge secondaire.

30 **14.** Cuve selon l'une des revendications 1 à 13, dans laquelle un élément calorifuge primaire et un élément calorifuge secondaire présentent une forme parallélépipédique, et dans laquelle l'élément calorifuge primaire

comporte des piliers d'ancrage primaires (49) chacun agencé au niveau d'un coin de l'élément calorifuge primaire, l'élément calorifuge secondaire comportant des piliers d'ancrage secondaires (49) chacun agencé au niveau d'un coin de l'élément calorifuge secondaire, les piliers d'ancrage primaires et les piliers d'ancrage secondaires étant superposés.

5 **15.** Cuve selon l'une des revendications 1 à 14, dans lequel la paroi de cuve comporte en outre une barrière d'étanchéité secondaire (3) en appui sur la surface de support secondaire de la barrière d'isolation thermique secondaire.

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

17. Utilisation d'un navire (70) selon la revendication 16, dans laquelle on achemine un produit liquide froid à travers des canalisations isolées (73, 79, 76, 81) depuis ou vers une installation de stockage flottante ou terrestre (77) vers ou depuis la cuve du navire (71) pour effectuer le chargement ou déchargement du navire.

18. Système de transfert pour un produit liquide froid, le système comportant un navire (70) selon la revendication 16, des canalisations isolées (73, 79, 76, 81) agencées de manière à relier la cuve (71) installée dans la coque du navire à une installation de stockage flottante ou terrestre (77) et une pompe pour 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.