

## **SOUDAGE D'UNE MEMBRANE ETANCHE D'UN MASSIF D'ISOLATION THERMIQUE D'UNE CUVE**

### **Domaine de l'invention**

L'invention a pour objet la réalisation de cuves étanches et thermiquement isolantes destinées plus particulièrement, mais non exclusivement, au transport par mer des gaz liquéfiés ou liquide cryogénique et, plus spécifiquement, au transport des gaz naturels liquéfiés à forte teneur en méthane (GNL) ou pétrole (GPL). De telles cuves peuvent également être installées à terre ou sur un ouvrage flottant destiné au stockage.

L'invention concerne ici le soudage d'une membrane étanche d'une telle cuve, plus particulièrement l'invention propose une solution pour réaliser un soudage optimal entre deux virures adjacentes de la membrane ainsi que deux ailes d'ancrage, lesdites deux virures présentant des bords relevés et la soudure entre ces deux virures contiguës étant réalisée au niveau de ces bords relevés.

Dans la suite, les expressions « aile d'ancrage » et « support de soudure » seront utilisées indifféremment pour désigner un même élément dont la fonction est à la fois d'offrir un moyen d'ancrage de la membrane (ses virures) au massif d'isolation thermique et de servir en tant que support de soudure pour la fixation avec chacune des deux virures adjacentes.

### **Etat de l'art**

On connaît par exemple d'après FR 2798358, FR 2709725, FR 2549575, des cuves de stockage ou de transport pour des gaz liquéfiés à basse température dont la ou chaque membrane étanche, notamment une membrane étanche primaire en contact avec le produit contenu dans la cuve, est constituée de tôles métalliques minces qui seront portées par une barrière thermiquement isolante. Ces tôles métalliques minces sont reliées entre elles de manière étanche afin d'assurer l'étanchéité de la cuve.

La figure 1 illustre un mode de fixation connu desdites tôles métalliques sur la barrière thermiquement isolante dans ce type de cuve. Sur cette figure 1, une surface supérieure 101 de la barrière thermiquement isolante présente une rainure 102 se

développant dans l'épaisseur de la barrière thermiquement isolante depuis la surface de support 101. Cette rainure 102 présente dans l'épaisseur de la barrière thermiquement isolante une zone de retenue formée par une gorge 103 qui se développe parallèlement à la surface de support 101. Cette gorge 103 se développe au niveau d'une extrémité de la rainure 102 opposée à la surface de support 101 dans l'épaisseur de la barrière thermiquement isolante, la rainure 102 présentant une section en coupe en forme en « T » inversé dont la base est formée par la gorge 103. Une aile d'ancrage 104 en forme de « L » est insérée dans la rainure 102. Cette aile d'ancrage 104 présente une base 105 logée dans la gorge 103 de manière à retenir l'aile d'ancrage 104 sur la barrière thermiquement isolante selon une direction perpendiculaire à la surface de support 101. L'aile d'ancrage 104 comporte en outre une branche d'ancrage 106 dont une partie inférieure 107 est jointive de la base 105 et une partie supérieure 108 fait saillie au-dessus de la surface de support 101.

Deux tôles métalliques 109 sont disposées de part et d'autre de l'aile d'ancrage 104. Ces tôles métalliques 109 présentent chacune une portion médiane plane 110 en appui sur la surface de support 101 (pour une question de lisibilité de la figure, la surface de support 101 et les tôles métalliques 109 sont représentées sur la figure 1 avec un écart). Ces tôles métalliques 109 présentent en outre des bords latéraux relevés, ci-après appelés bords relevés 111. Un bord relevé 111 de chacune des deux tôles métalliques 109 adjacentes est soudé de part et d'autre de la branche d'ancrage 106 de l'aile d'ancrage 104.

Les bords relevés 111 forment ainsi avec l'aile d'ancrage 104 des soufflets permettant d'absorber les efforts liés à la contraction de la membrane étanche, par exemple lors d'un chargement de liquide cryogénique dans la cuve.

Cependant, une telle aile d'ancrage 104 constitue un point de fixation fixe pour chaque bord relevé 111. En effet, l'aile d'ancrage 104 étant sollicitée selon deux directions opposées par les bords relevés 111, elle reste sensiblement statique dans la cuve. En conséquence, l'ancrage des bords relevés 111 sur la surface de support 101 via les ailes d'ancrage 104 est sensiblement fixe dans le sens perpendiculaire aux bords relevés 111. La souplesse de la membrane étanche est donc limitée.

C'est pourquoi il a été proposé, d'après FR 3054872, d'utiliser deux ailes d'ancrage, chacune de ces deux ailes d'ancrage ayant respectivement pour fonction d'ancrer l'une des deux virures adjacentes.

Néanmoins, la jonction entre les bords relevés de deux virures adjacentes présente alors quatre épaisseurs de matière (deux bords relevés de virures et deux ailes d'ancrage) à souder de manière totalement étanche entre elles. Or, compte tenu notamment des épaisseurs des bords relevés des virures ainsi que celles des ailes d'ancrage, la fixation des deux virures aux ailes d'ancrage est rendue particulièrement difficile à réaliser, étant  
5 considéré par ailleurs que l'on cherche à conserver une souplesse, ou une élasticité, importante au niveau de ces jonctions étanches de manière à pouvoir absorber en particulier les sollicitations thermiques. On connaît aussi des méthodes de soudage décrites par FR1589316 et DE4411888.

10 Il n'existe pas à l'heure actuelle de procédé permettant de souder efficacement et rapidement, soit au minimum de manière totalement étanche sur toute la longueur des soudures, au niveau de deux virures adjacentes, lorsque ces dernières disposent chacune d'une aile d'ancrage au massif d'isolation thermique.

### 15 **Brève description de l'invention**

La présente invention entend remédier aux lacunes de l'état de la technique en proposant une solution particulièrement efficace pour réaliser la soudure entre deux virures adjacentes, lorsque chacune dispose de ou comporte une aile d'ancrage la reliant  
20 ou la fixant au massif d'isolation thermique.

Il a été découvert par la demanderesse, après diverses études et analyses, une solution techniquement simple à mettre en œuvre permettant de réaliser une soudure parfaite, à savoir totalement étanche et très résistante mécaniquement, entre deux virures adjacentes/contiguës d'une membrane, par l'intermédiaire de leurs ailes d'ancrage  
25 respectives et rapidement.

Ainsi, la présente invention concerne un procédé de soudage d'une membrane de cuve étanche et thermiquement isolante, dans lequel une cuve étanche et thermiquement isolante comprend au moins une membrane métallique étanche et un massif thermiquement isolant comportant au moins une barrière thermiquement isolante  
30 adjacente à ladite membrane, dans lequel :

- au moins deux virures métalliques de la membrane étanche, portées par une surface de support de la barrière thermiquement isolante, se présentent sous la forme

d'une pièce profilée comportant une portion médiane plane reposant sur la surface de support et deux bords latéraux relevés faisant saillie depuis la surface de support, et

- au moins deux supports métalliques de soudure, portés par la barrière thermiquement isolante, font saillie depuis la surface de support entre les deux bords latéraux relevés adjacents des deux virures adjacentes,

le procédé selon l'invention se caractérisant en ce que l'on insère une lame conductrice entre les deux susdits supports métalliques de soudure et en ce que, à la suite, on soude de manière étanche, ensemble deux à deux, par un soudage à la molette chacun des deux bords latéraux relevés des deux virures métalliques adjacentes avec respectivement l'un desdits supports métalliques de soudure, intercalés entre lesdits bords relevés adjacents.

Grâce à ce procédé selon l'invention, on peut dorénavant réaliser une soudure de qualité optimum de façon automatique de sorte que le temps d'installation de la cuve étanche et thermiquement isolante s'en trouve significativement réduit. Ainsi, on obtient un gain de productivité. Par ailleurs, le procédé de soudage selon l'invention permet d'assurer la continuité mécanique et l'étanchéité du cordon de soudage, de souder la longueur des bords relevés sans arrêt ni reprise grâce à la continuité électrique et de ne pas fusionner les deux supports de soudure au niveau des soudures avec les deux bords relevés. Ce procédé est également compatible avec les machines actuelles de soudage et permet donc de conserver le matériel existant, de limiter les investissements et la gestion du parc machine.

Egalement, grâce au procédé selon l'invention, on réalise une soudure simultanée (au même moment) de chacun des deux ensembles bord relevé/support de soudure.

De nombreux tests ont été réalisés pour apprécier la qualité de la soudure entre chacune des ailes d'ancrage et la virure (son bord relevé) et ces tests montrent une qualité de soudure optimum (notamment aucune trace du matériau formant la lame conductrice) présentant d'excellentes qualités mécaniques, en particulier au niveau de sa résistance aux chocs, sa résistance en traction/flexion/compression et sa tenue aux gradients thermiques (la jonction entre l'aile d'ancrage et la virure devant toujours rester étanche).

On entend par « soudage à la molette » un soudage dans lequel les pièces sont assemblées par application d'un courant électrique (l'application du courant continu ou non) et d'une pression, des molettes contre la surface à souder.

D'autres caractéristiques avantageuses de l'invention sont présentées succinctement ci-dessous :

- 5       - avantageusement, l'un au moins des supports de soudure, de préférence les deux, consiste en une aile d'ancrage de manière à ancrer la membrane étanche à la barrière thermiquement isolante du massif d'isolation thermique ;
  - selon un mode d'exécution, l'aile d'ancrage se présente sous la forme d'un L et comporte une portion longitudinale et une portion inférieure en prise avec la barrière thermiquement isolante ;
  - 10       - selon un mode d'exécution, la portion inférieure de l'aile d'ancrage s'étend, parallèlement à la portion médiane des virures métalliques, dans un évidement de la barrière thermiquement isolante du massif d'isolation thermique ;
  - de préférence, préalablement à la soudure de chacun des susdits bords relevés avec l'un desdits supports de soudure, lesdits supports de soudure ont été fixés par
  - 15       soudure de façon étanche l'un à l'autre ;
- Ainsi, comme cela est représenté sur la figure 4 annexée, la jonction des deux virures adjacentes avec les deux ailes d'ancrage métallique présente, grâce aux différents points de soudure, un profil ou une section en W. Autrement dit, une telle jonction présente une fonction de double-soufflet qui lui confère d'importantes propriétés
- 20       d'élasticité permettant à la membrane étanche, en particulier à ce niveau, de supporter ou d'encaisser de très forts gradients thermiques, se traduisant en particulier par des contractions (thermiques) particulièrement significatives.
- Avantageusement, le soudage à la molette de chacun desdits deux bords relevés adjacents avec respectivement l'un desdits supports de soudure s'effectue à une
- 25       vitesse comprise entre 1,5 mètre par minute (m/min) et 2,5 m/min, de préférence à une vitesse de 1,8 m/min ;
- selon un mode d'exécution de l'invention, les susdits bords relevés, de préférence également les supports de soudure, sont en Invar® ou en acier contenant au moins 20% de manganèse, de préférence au moins 25% de manganèse, de façon encore
- 30       plus préférée à 28% de manganèse ;
- selon un mode de réalisation, l'épaisseur des bords relevés, de préférence également l'épaisseur des susdits supports de soudure, est comprise entre 0,5 et 0,8 millimètre (mm), de préférence égale à 0,7 mm ;

- 6 -

- lorsque les bords relevés, éventuellement les supports de soudure présentent une telle épaisseur (de 0,5 et 0,8 mm), lors du soudage à la molette, l'intensité du courant est comprise entre 1,8 et 3,2 kiloampères (kA), de préférence comprise entre 2,2 et 2,8 kA, et la force de pression exercée par chaque molette contre respectivement un bord relevé est comprise entre 1,2 et 2,8 bars, de préférence entre 2 et 2,5 bars ;

- selon un autre mode de réalisation, l'épaisseur des bords relevés, de préférence également l'épaisseur des susdits supports de soudure, est comprise entre 0,9 et 1,2 millimètre (mm), de préférence égale à 1 mm ;

- lorsque les bords relevés, éventuellement les supports de soudure présentent une telle épaisseur (de 0,9 et 1,2 mm), lors du soudage à la molette, l'intensité du courant est comprise entre 2,7 et 3,8 kA, de préférence comprise entre 3 et 3,5 kA, et la force de pression exercée par chaque molette contre respectivement un bord relevé est comprise entre 3,5 et 5 bars, de préférence entre 4 et 4,5 bars ;

- avantageusement, lors du soudage à la molette, le courant électrique du soudage à la molette ne circule pas de façon continue, de préférence ledit courant électrique circule pendant une plage de temps correspondant de 60% à 80% du temps à (ou pour) une fréquence constante, de façon encore plus préférée pendant deux tiers (2/3) du temps à (ou pour) une fréquence constante ;

- avantageusement, la lame conductrice consiste en un matériau ou un alliage de matériaux à haut point de fusion, supérieur au point de fusion des bords relevés et des supports de soudure. Selon un mode de réalisation, la lame conductrice est (comprend essentiellement) en cuivre, en alliage à base de molybdène, en alliage à base de tungstène ou en graphite, de préférence en cuivre.

L'invention se rapporte aussi à un système de soudage d'une membrane de cuve étanche et thermiquement isolante, le système comprenant un dispositif de soudage à la molette comportant deux molettes, éventuellement un moyen de maintien desdites molettes contre une surface à souder, et une paroi d'une cuve étanche et thermiquement isolante comprenant :

- deux virures adjacentes métalliques de la membrane étanche, portées par une surface de support de la barrière thermiquement isolante de la cuve étanche et thermiquement isolante, se présentant sous la forme d'une pièce profilée comportant une

- 7 -

portion médiane plane reposant sur la surface de support et deux bords latéraux relevés faisant saillie depuis la surface de support, et

- deux supports métalliques de soudure, portés par la barrière thermiquement isolante, faisant saillie depuis la surface de support entre les deux bords latéraux relevés adjacents des deux virures adjacentes,

le dispositif de soudage à la molette réalisant au moins une soudure entre respectivement l'un des susdits bords relevés et l'un des susdits supports de soudure,

le système selon l'invention se caractérisant en ce que le dispositif de soudage comprend une lame conductrice destinée à être insérée entre les deux supports de soudure de manière à réaliser la soudure de chacun des deux susdits bords latéraux relevés adjacents avec respectivement l'un desdits supports de soudure, intercalés entre lesdits bords relevés adjacents.

On doit noter que toutes les caractéristiques présentées précédemment en lien avec le procédé de soudage selon l'invention trouvent à s'appliquer au système de soudage succinctement défini ci-dessus.

L'invention concerne également une cuve étanche et thermiquement isolante intégrée dans une structure porteuse, comportant une cuve étanche et thermiquement isolante comprenant au moins une membrane métallique étanche composée d'une pluralité de virures métalliques et un massif thermiquement isolant comportant au moins une barrière thermiquement isolante adjacente à ladite membrane, dans laquelle :

- au moins deux virures métalliques de la membrane étanche, portées par une surface de support de la barrière thermiquement isolante, se présentent sous la forme d'une pièce profilée comportant une portion médiane plane reposant sur la surface de support et deux bords latéraux relevés faisant saillie depuis la surface de support, et

- au moins deux supports métalliques de soudure, portés par la barrière thermiquement isolante, font saillie depuis la surface de support entre les deux bords latéraux relevés adjacents des deux virures adjacentes,

Le cuve selon l'invention se caractérise en ce que chacun des deux bords latéraux relevés adjacents des deux virures métalliques adjacentes et respectivement l'un desdits supports de soudure, intercalés entre lesdits bords relevés adjacents, sont soudés, ensemble deux à deux, de manière étanche, par un soudage à la molette.

La réalisation d'une soudure entre une virure (son bord relevé) et une aile d'ancrage est certes connue en tant que telle, par le document FR 3054872, mais le point de soudure présente, avec l'utilisation du procédé selon la présente invention, une section de forme différente de celle de cet état de la technique. En effet, compte tenu du positionnement de la lame conductrice du côté (contiguë) de l'aile d'ancrage et d'une molette du côté (contiguë) au bord relevé d'une virure, la section du point de soudure présente une forme sensiblement ovale (et non symétrique comme dans l'état de la technique) dont l'excroissance (protubérance ou bosse) se trouve du côté de la virure, c'est-à-dire du côté où était positionnée la molette lors du soudage. On notera que, dans l'hypothèse où deux molettes, disposées de part et d'autre du point de soudure, sont utilisées, le point de soudure présente une forme symétrique. Cette section de forme légèrement différente - la figure 4 annexée n'étant pas représentative au regard de cette caractéristique de forme du point de soudure - par rapport à l'état de la technique n'implique évidemment aucune conséquence négative concernant la qualité du point de soudure mais elle permet de différencier un point de soudure réalisé selon le procédé de la présente invention d'un autre procédé de soudage. Ainsi, une telle cuve, comportant l'ensemble des caractéristiques ci-dessus énoncées et caractérisée par au moins un point de soudure réalisé par une paire « molette/lame conductrice », est bien nouvelle.

Enfin, l'invention se rapporte également à un navire pour le transport d'un produit liquide froid, le navire comportant une double coque et une cuve étanche et thermiquement isolante telle que décrite succinctement ci-dessus, disposée dans la double coque.

Avantageusement, le navire selon l'invention comprend au moins une cuve étanche et isolante telle que décrite ci-dessus, ladite cuve comportant deux barrières d'étanchéité successives, l'une primaire au contact avec un produit contenu dans la cuve et l'autre secondaire disposée entre la barrière primaire et une structure porteuse, de préférence constituée par au moins une partie des parois du navire, ces deux barrières d'étanchéité étant alternées avec deux barrières thermiquement isolantes ou une unique barrière thermiquement isolante disposée entre la barrière primaire et la structure porteuse.

De telles cuves sont désignées classiquement en tant que cuves intégrées suivant le code de l'Organisation Maritime Internationale (IMO), telles que par exemple des cuves de type NO 96®.

5 De préférence, la cuve contient un Gaz Naturel Liquéfié (GNL) ou un Gaz Liquéfié (GL).

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 fluide 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 fluide, notamment 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 fluide à travers les canalisations isolées depuis ou vers l'installation de  
15 stockage flottante ou terrestre vers ou depuis la cuve du navire.

### **Description des Figures annexées**

20 La description qui va suivre est donnée uniquement à titre illustratif et non limitatif en référence aux figures annexées, dans lesquelles :

- la figure 1 est une vue en coupe d'une aile d'ancrage de membrane métallique étanche de l'art antérieur, ladite aile d'ancrage étant ancrée dans une barrière thermiquement isolante d'une cuve étanche et thermiquement isolante ;

25 - la figure 2 est une vue en coupe de deux ailes d'ancrage de membrane métallique, les deux ailes d'ancrage ayant été soudés entre elles préalablement à leur introduction dans le massif d'isolation thermique, cette figure illustrant une portion de paroi d'une cuve, au niveau de deux virures adjacentes, avant l'application du procédé de soudage selon l'invention ;

- 10 -

- la figure 3 est une vue en coupe identique à la figure 2, cette fois-ci les éléments propres à mettre en œuvre le procédé de soudage selon l'invention étant visibles sur cette figure ;

5 - la figure 4 est une vue en coupe, reprenant les éléments visibles sur les figures 2 et 3, d'une portion de paroi de cuve étanche et thermiquement isolante, après la mise en œuvre du procédé de soudage selon l'invention ;

- la figure 5 est une représentation schématique écorchée d'une cuve de navire méthanier et d'un terminal de chargement/déchargement de cette cuve.

#### 10 **Description détaillée de modes de réalisation de l'invention**

Dans la description ci-dessous, on fait référence à une membrane étanche dans le cadre d'une cuve étanche et thermiquement isolante. Une telle cuve comporte un espace interne destiné à être rempli de gaz combustible ou non combustible. Le gaz peut  
15 notamment être un gaz naturel liquéfié (GNL), c'est-à-dire un mélange gazeux comportant majoritairement du méthane ainsi qu'un ou plusieurs autres hydrocarbures, tels que l'éthane, le propane, le n-butane, le i-butane, le n-pentane, le i-pentane, le néopentane, et de l'azote en faible proportion. Le gaz peut également être de l'éthane ou un gaz de pétrole liquéfié (GPL), c'est-à-dire un mélange d'hydrocarbures issu du raffinage du pétrole  
20 comportant essentiellement du propane et du butane.

De façon générale, la membrane étanche repose sur une surface de support formée par une barrière thermiquement isolante de la cuve. Cette membrane étanche présente une structure répétée, comportant alternativement d'une part des bandes de tôle, formant des virures, disposées sur la surface de support et, d'autre part, des supports de soudure  
25 allongés liés à la surface de support et s'étendant parallèlement aux bandes de tôle sur au moins une partie de la longueur des bandes de tôle. Les bandes de tôle comportent des bords latéraux relevés disposés et soudés contre les supports de soudure adjacents. Une telle structure est par exemple utilisée dans les cuves de méthanier de type NO 96® commercialisées par la déposante.

30 Au niveau de la cuve étanche et thermiquement isolante, non représentée dans sa globalité sur les figures annexées, les bords relevés des virures sont préférablement

disposés selon une direction longitudinale perpendiculaire ou parallèle à la direction longitudinale du navire. Ainsi, les bords relevés constituent des soufflets permettant d'absorber les efforts de contraction dans une direction longitudinale du navire ou une direction transversale perpendiculaire à celle-ci. Les bandes de tôle ainsi que les supports de soudure sont interrompus au niveau des angles, par exemple de la façon décrite dans le document WO 2012/072906 ou bien FR2724623.

Selon un mode de réalisation, la membrane d'étanchéité (virures), l'une des membranes d'étanchéités ou les membranes d'étanchéité peuvent être réalisées dans un métal choisi parmi l'acier inoxydable, l'aluminium, l'Invar<sup>®</sup>, c'est-à-dire un alliage de fer et de nickel dont le coefficient de dilatation est typiquement compris entre  $1,2 \cdot 10^{-6}$  et  $2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  ou un alliage de fer à forte teneur en manganèse dont le coefficient de dilatation est de l'ordre de  $7$  à  $9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Selon un mode de réalisation, un matériau présentant un coefficient de contraction thermique inférieur à  $16 \cdot 10^{-6}/\text{K}$  est choisi pour les applications dont le gaz liquide est à une température comprise entre  $-45^{\circ}\text{C}$  et  $-100^{\circ}\text{C}$ .

Les figures 2 à 4 représentent une vue en coupe d'une paroi d'une cuve étanche et thermiquement isolante au niveau de la liaison entre deux virures 1, 2 métalliques adjacentes d'une membrane étanche de la paroi de cuve et deux supports de soudure 3, 4 ancrés sur une barrière thermiquement isolante 5 du massif d'isolation thermique de la paroi de cuve. Une telle barrière thermiquement isolante 5 est formée d'éléments isolants juxtaposés. Par exemple, des éléments isolants adaptés sont décrits dans le document WO2012/072906. Cette barrière thermique 5 du massif d'isolation thermique pourra être réalisée en une ou plusieurs épaisseurs répondant à la fonction d'isoler thermiquement le contenu de la cuve de son environnement. Le ou les matériaux également susceptibles d'être présents dans un tel massif d'isolation thermique consistent par exemple en des mousses polymères, telles que des mousses polyuréthane, du polystyrène ou du polyéthylène, de préférence à très basse densité (PEBD), de la laine de verre manufacturée, de la laine de verre en vrac, des mousses de mélamine, des aérogels, de la ouate de polyester en matelas ou en vrac.

Le massif d'isolation thermique est classiquement ancré à la structure porteuse, non représenté sur les figures annexées, par exemple d'un navire ou d'une barge, par des organes de retenue. Chacun des éléments isolants formant le massif d'isolation thermique présente ici une forme de parallélépipède rectangle présentant deux grandes faces, ou faces principales, et quatre petites faces, ou faces latérales. Plus particulièrement, les

virures 1, 2 métalliques adjacentes reposent sur une surface de support 10 du massif d'isolation thermique (ou de la barrière thermiquement isolante 5). Cette surface de support 10 est formée par la face supérieure de la barrière thermiquement isolante 5. Les supports de soudure 3, 4 sont ancrés dans l'élément isolant de la barrière thermiquement isolante 5 du massif d'isolation thermique.

Afin d'ancrer les supports de soudure 3, 4 dans le massif d'isolation thermique, la face supérieure du massif (barrière thermiquement isolante 5) comporte une rainure 11 dont la section est en forme de « T » inversé. La partie supérieure de la barrière thermiquement isolante 5 peut comporter un contre-plaqué ou un matériau composite dans lequel est logée la rainure 11. Une zone de retenue 12 se développe dans l'épaisseur de la barrière thermiquement isolante 5 du massif d'isolation thermique isolant parallèlement à la surface de support 10. Les supports de soudure 3, 4 sont insérés par coulissement dans les rainures 11 du massif d'isolation thermique. Les supports de soudure 3, 4 sont ainsi ancrés de manière coulissante sur, ou dans, le massif d'isolation thermique 5, selon la direction longitudinale des supports de soudure 3, 4.

On pourra également prévoir que la zone de retenue 12 se développe selon une direction qui est généralement oblique par rapport à la surface de support 10 et comporte éventuellement une composante parallèle à la surface de support 10.

Dans le mode de réalisation illustré sur les figures 2 à 4, la zone de retenue 12 est formée par deux gorges 13, 14 se développant de part et d'autre de la rainure 11, au niveau de l'extrémité inférieure de ladite rainure 11.

Les supports de soudure 3, 4 consistent en deux ailes d'ancrage métalliques, de préférence de forme et de nature (matériau) identiques. Ces ailes d'ancrage métalliques 3, 4 sont essentiellement symétriques par rapport à un plan perpendiculaire à la surface de support 10 et parallèle à une direction longitudinale de la rainure 11. Chaque aile d'ancrage métallique 3 ou 4 présente une section en forme de « L » comportant une base 21 et une branche d'ancrage 22. La base 21 correspond à la portion inférieure de l'aile d'ancrage métallique 3, 4 tandis que la branche d'ancrage 22 correspond à la portion longitudinale de ces mêmes ailes d'ancrage métalliques 3, 4.

La base 21 de chaque aile d'ancrage métallique 3, 4 est logée dans une gorge 13, 14, ou évidemment, respective de la rainure 11. Les bases 21 des ailes d'ancrage métalliques 3, 4 se développent parallèlement à la surface de support 10. Une partie inférieure de la branche d'ancrage 22 de l'une des ailes d'ancrage métalliques 3 ou 4 est jointive de l'autre

branche d'ancrage 22 de l'aile d'ancrage métallique 3 ou 4. Ainsi, selon une possibilité offerte par l'invention, les portions inférieures des branches d'ancrage 22 des deux ailes d'ancrage métalliques 3, 4 sont soudées entre elles par une ligne de soudure 23. Cette ligne de soudure 23 est de préférence logée, ou située, dans l'épaisseur de la barrière thermiquement isolante 5 (mode représenté sur les figures 2 à 4) mais on peut prévoir que  
5 cette ligne de soudure 23 soit située au niveau de la surface de support 10, voire légèrement au-dessus de cette dernière 10. Une partie supérieure de la branche d'ancrage 22 de chacune des ailes d'ancrage métalliques 3, 4 fait saillie, à partir de la surface de support 10 depuis la rainure 11, vers l'intérieur de la cuve.

10 Autrement dit, les deux virures 1, 2 métalliques adjacentes sont disposées sur la surface de support 10 de part et d'autre des supports de soudure 3, 4. Chaque virure 1, 2 métallique présente une portion médiane plane 6, 7. Chaque virure 1, 2 métallique présente deux bords relevés 8, 9 situés le long de deux bords longitudinaux opposés de la portion médiane plane 6, 7. Un seul bord relevé 8, 9 de chacune des deux virures 1, 2  
15 métalliques est représenté sur les figures 2 à 4. Chaque bord relevé 8, 9 fait saillie par rapport à la surface de support 10.

La figure 2 illustre l'état dans lequel sont positionnés les différents éléments 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 que sont les deux virures adjacentes 1, 2, 6, 7, 8, 9, les deux ailes d'ancrage 3, 4 (fixées entre elles ici au niveau du point de soudure 23) et le massif  
20 d'isolation thermique 5, avant l'application du procédé de soudage selon l'invention.

La figure 3 illustre les éléments propres audit procédé et dispositif de soudage selon l'invention, se rajoutant aux susdits éléments de la figure 2. Ainsi, par rapport à la figure 2, il est présent, sur cette figure 3, une lame conductrice 30 (l'expression de « bande conductrice » peut également être utilisée pour désigner la « lame conductrice » 30) ainsi  
25 que deux molettes de soudage 31, 32, ladite lame conductrice 30 et lesdites molettes 31, 32 étant reliées à un appareil de soudage à la molette, non représenté sur les figures annexées. La lame conductrice 30 vient se placer dans l'espace défini entre les deux ailes d'ancrage 3, 4, plus précisément au niveau de l'espace entre les branches d'ancrage 22, de chacune des ailes d'ancrage 3, 4, faisant saillie de la surface de support 10. Les deux  
30 molettes 31, 32 viennent se placer contiguës contre la face/côté extérieur (face/côté se trouvant opposé à celui où se situe les ailes d'ancrage) de chacun des bords relevés 8, 9 des deux virures 1, 2. En appliquant une pression des molettes 31, 32, contre chacun des bords relevés 8, 9, dirigée vers la lame conductrice 30, il est possible de faire passer un

courant dans l'épaisseur constituée par une molette 31 ou 32, un bord relevé 8 ou 9, une aile d'ancrage 3 ou 4 et la lame conductrice 30 de manière à réaliser un soudage à la molette entre chacun des bords relevés 8, 9 et l'aile d'ancrage contiguë 3, 4.

5 Dans le cadre de la présente invention, le choix de l'intensité de courant ainsi que de la pression exercée par les molettes est déterminé, après de multiples expérimentations, pour assurer un soudage à la molette optimum. Les gammes d'intensité de courant et de pression (par exemple exprimée en bars) sont conformes à celles présentées précédemment, pour des épaisseurs et nature de matériaux définies.

10 D'un point de vue du fonctionnement du dispositif de soudage selon l'invention, on peut envisager plusieurs configurations quant à la polarité des différents éléments pour réaliser l'opération de soudage. Ainsi, on pourra prévoir que :

- une molette 31 ou 32 serve de borne positive et l'autre molette 31 ou 32 de borne négative,
- les deux molettes 31, 32 servent de borne positive et la lame conductrice 30 de borne négative,
- 15 - la lame conductrice 30 serve de borne positive et les deux molettes 31, 32 de borne négative.

Bien entendu, la lame conductrice 30 peut également être utilisée comme (simple) élément conducteur électrique. Ainsi, dans ce mode de réalisation préféré, l'une des molettes 31 ou 32 sert de borne positive et l'autre molette 31 ou 32 de borne négative, la lame conductrice 30 ne présentant aucune polarité.

20 La lame conductrice 30 consiste en un matériau conducteur électrique qui doit présenter un point de fusion élevé et être suffisamment résistant mécaniquement pour ne pas se déformer sous les efforts de pression des molettes 31, 32. Le cuivre est un matériau économiquement avantageux mais d'autres matériaux sont possibles, tels que les molybdènes (alliages à base de molybdène), les tungstènes (alliages à base de tungstène) ou les graphites.

30 Les bords relevés 8, 9 des virures 1, 2 présentent avantageusement une épaisseur de 0,7 millimètre (mm) à l'instar des ailes d'ancrage 3, 4, à tout le moins au niveau de la branche d'ancrage 22 venant se souder au bord relevé 8, 9 correspondant. Bien entendu, on peut prévoir que les épaisseurs des bords relevés 8, 9 soient supérieures ainsi que celle des ailes d'ancrage 3, 4, ce qui conduit à imposer une intensité de courant supérieur. On peut également choisir des épaisseurs différentes pour les bords relevés 8, 9 et les ailes

d'ancrage 3, 4, tout comme la nature du ou des matériaux constituant les bords relevés 8, 9 (virures 1, 2) et les ailes d'ancrage 3, 4 peut éventuellement être différente.

Comme cela est visible sur la figure 4, une fois que le procédé de soudage selon l'invention a été mis en œuvre, le bord relevé 8, 9 de chacune des deux virures 1, 2 métalliques adjacentes est soudé à une aile d'ancrage métallique 3, 4 respective formant support de soudure. Plus particulièrement, chaque bord relevé 8, 9 est soudé par une ligne de soudure 40, 41 à la portion supérieure d'une unique aile d'ancrage métallique 3, 4.

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

En référence à la figure 5, une vue écorchée d'un navire méthanier 70 montre une cuve étanche et isolante 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 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 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 5 représente un exemple de terminal maritime comportant un poste de chargement et de déchargement 75, une conduite sous-marine 76 et une installation à terre 77. Le poste de chargement et de déchargement 75 est une installation fixe off-shore comportant un bras mobile 74 et une tour 78 qui supporte le bras mobile 74. Le bras mobile 74 porte un faisceau de tuyaux flexibles isolés 79 pouvant se connecter aux canalisations de chargement/déchargement 73. Le bras mobile 74 orientable s'adapte à tous les gabarits de méthaniers. Une conduite de liaison non représentée s'étend à l'intérieur de la tour 78. Le poste de chargement et de déchargement 75 permet le chargement et le déchargement du méthanier 70 depuis ou vers l'installation à terre 77. Celle-ci comporte des cuves de stockage de gaz liquéfié 80 et des conduites de liaison 81 reliées par la conduite sous-marine 76 au poste de chargement ou de déchargement 75.

La conduite sous-marine 76 permet le transfert du gaz liquéfié entre le poste de chargement ou de déchargement 75 et l'installation à terre 77 sur une grande distance, par exemple 5 km, ce qui permet de garder le navire méthanier 70 à grande distance de la côte pendant les opérations de chargement et de déchargement.

- 5            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.

10           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.

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