

## **Système perfectionné de traitement et d'acheminement de gaz naturel comportant un circuit de chauffage de la cuve**

### **Domaine technique**

L'invention se rapporte au domaine des navires comportant une cuve de  
5 stockage de gaz naturel liquéfié.

L'invention se rapporte plus particulièrement à un système embarqué pour  
le traitement et l'acheminement de gaz naturel permettant l'alimentation en gaz  
naturel d'un équipement de production d'énergie, tel qu'un moteur thermique, une  
pile à combustion ou une turbine à gaz, et le réchauffage d'une cuve, notamment  
10 pour permettre son inspection.

### **Arrière-plan technologique**

Dans l'état de la technique, il est connu des navires comportant une cuve  
de stockage de gaz naturel liquéfié et un système de traitement et d'acheminement  
de gaz depuis la cuve vers un ou plusieurs équipements de production d'énergie,  
15 tels que des moteurs thermiques, des piles à combustion ou des turbines à gaz  
et/ou vers un ou plusieurs brûleurs d'une installation de production d'énergie.

De tels navires font l'objet d'opérations de contrôle et de maintenance  
particulièrement approfondies. En particulier, les cuves de stockage de gaz naturel  
liquéfié font régulièrement l'objet d'inspections.

20 Pour ce faire, les cuves sont vidées puis chauffées afin d'atteindre des  
températures appropriées pour autoriser de telles inspections.

### **Résumé**

Une idée à la base de l'invention est de proposer un système perfectionné  
de traitement et d'acheminement de gaz naturel permettant d'alimenter, d'une part,  
25 un équipement de production d'énergie choisi parmi un moteur thermique, une pile à  
combustion et une turbine à gaz et, d'autre part, un brûleur et qui en outre permette  
un chauffage efficace de la cuve.

Selon un mode de réalisation, l'invention fournit un système de traitement  
et d'acheminement de gaz naturel comportant :

- un circuit d'alimentation d'un moteur thermique d'un équipement de production d'énergie choisi parmi un moteur thermique, une pile à combustion, ou une turbine à gaz permettant d'acheminer du gaz naturel depuis une cuve de stockage de gaz naturel liquéfié vers ledit équipement de production d'énergie, ledit circuit d'alimentation comportant une portion amont raccordée à la cuve et une portion aval raccordée à l'équipement de production d'énergie ;
- un circuit d'alimentation d'un brûleur permettant d'acheminer du gaz naturel depuis la cuve vers le brûleur comportant une portion amont raccordée à la cuve et une portion aval raccordée au brûleur ;
- un circuit de chauffage de la cuve apte à collecter un flux gazeux en partie basse de la cuve et à l'injecter en partie haute de la cuve, ledit circuit de chauffage comportant une portion amont raccordée à une canalisation débouchant en partie basse de la cuve et une portion aval raccordée à une canalisation débouchant en partie haute de la cuve ; dans lequel :
- le circuit d'alimentation de l'équipement de production d'énergie et le circuit de chauffage comportent une portion de circuit commune qui comprend un compresseur présentant une entrée et une sortie et permettant d'augmenter la pression et la température d'un flux gazeux, ladite portion commune étant délimitée, en amont, par un premier organe de raccordement à trois voies commutable permettant de raccorder sélectivement la portion amont du circuit d'alimentation du moteur ou la portion amont du circuit de chauffage à l'entrée du compresseur et, en aval, par un deuxième organe de raccordement à trois voies commutable permettant de raccorder sélectivement la sortie du compresseur à la portion aval du circuit d'alimentation de l'équipement de production d'énergie ou à la portion aval du circuit de chauffage ;
- la portion aval du circuit de chauffage comportant un troisième organe de raccordement à trois voies permettant de raccorder ladite portion aval du circuit de chauffage à la portion aval du circuit d'alimentation du brûleur de sorte à évacuer une partie du flux gazeux acheminé dans le circuit de chauffage vers le brûleur.

Un tel système est particulièrement avantageux en ce que, d'une part, il permet de chauffer efficacement la cuve de stockage du gaz naturel liquéfié tout en valorisant le gaz naturel évacué de la cuve, et, d'autre part, il présente une

conception optimisée pour permettre une utilisation de composants, tel que le compresseur, pour assurer plusieurs des fonctionnalités du système.

Selon des modes de réalisation, un tel système de traitement et d'acheminement des gaz naturel peut comporter une ou plusieurs des

5 caractéristiques suivantes.

- la portion aval du circuit de chauffage comporte un tronçon de raccordement à la sortie du compresseur et un tronçon de retour vers la cuve et la portion aval du circuit de chauffage et le circuit d'alimentation du brûleur comportent une portion commune qui comprend un appareil de chauffage de gaz présentant une entrée
- 10 et une sortie, ladite portion commune étant délimitée, en amont par un quatrième organe de raccordement à trois voies commutable permettant de raccorder sélectivement la portion amont du circuit d'alimentation du brûleur ou le tronçon de raccordement à la sortie du compresseur du circuit de chauffage à l'entrée de l'appareil de chauffage et, en aval, par le troisième organe de
- 15 raccordement à trois voies qui permet de raccorder concomitamment la sortie de l'appareil de chauffage de gaz à la portion aval du circuit d'alimentation du brûleur et au tronçon de retour vers la cuve du circuit de chauffage.
- le système comporte un organe de raccordement à trois voies commutable permettant de raccorder sélectivement ladite canalisation débouchant en partie
- 20 haute de la cuve, d'une part, à la portion aval du circuit de chauffage de sorte à permettre une injection du flux gazeux en partie haute de la cuve ou, d'autre part, à la portion amont du circuit d'alimentation de l'équipement de production d'énergie et/ou à la portion amont du circuit d'alimentation du brûleur afin de permettre une collecte du gaz, évaporé dans la cuve.
- 25 - le système comporte un circuit de remplissage de la cuve et un organe de raccordement à trois voies commutable permettant de raccorder sélectivement ladite canalisation débouchant en partie basse de la cuve, d'une part, à la portion amont du circuit de chauffage de sorte à permettre une collecte de flux gazeux en partie basse de la cuve ou, d'autre part, au circuit de remplissage de
- 30 la cuve.
- le circuit d'alimentation de l'équipement de production d'énergie comporte un séparateur de phases connecté, en aval, d'une part, à un conduit de retour permettant de retourner, sous forme de condensat, vers la cuve, une fraction lourde du gaz naturel comportant les hydrocarbures présentant la chaîne

carbonée la plus longue et, d'autre part, à un conduit raccordé à l'entrée du compresseur pour conduire une fraction légère du gaz naturel comportant les hydrocarbures présentant la chaîne carbonée la plus courte.

- le circuit d'alimentation du brûleur court-circuité ledit séparateur de phases.
- 5 - le compresseur est un compresseur typiquement multi-étagé.
- le système comporte un dispositif de protection du compresseur, ledit dispositif de protection comportant, une boucle de recirculation équipée d'une vanne permettant de renvoyer en amont du compresseur un flux gazeux collecté en aval dudit compresseur.
- 10 - la portion de circuit commune au circuit d'alimentation de l'équipement de production d'énergie et au circuit de chauffage comprend une pluralité de compresseurs agencés en parallèle.

- Selon un mode de réalisation, l'invention concerne un navire comportant une cuve de stockage de gaz liquéfié, un équipement de production d'énergie choisi
- 15 parmi un moteur thermique, une pile à combustion et une turbine à gaz, une installation de production d'énergie équipée d'un brûleur et un système de traitement et d'acheminement du gaz naturel tel que mentionné ci-dessus.

Dans un mode de réalisation, l'équipement de production d'énergie est destiné à assurer la propulsion du navire.

- 20 Selon un mode de réalisation, l'invention concerne également un procédé de remplissage de la cuve d'un navire tel que mentionné ci-dessus dans lequel on achemine un fluide à travers des canalisations isolées depuis une installation de stockage flottante ou terrestre vers la cuve du navire.

- Selon un mode de réalisation, l'invention concerne également un système
- 25 comportant un navire tel que mentionné ci-dessus, 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 fluide à travers les canalisations isolées depuis l'installation de stockage flottante ou terrestre vers la cuve du navire.

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.

- **La figure 1** est une vue schématique d'un système de traitement et d'acheminement de gaz naturel embarqué d'un navire.
- 5 • **La figure 2** illustre le système de la figure 1, dans lequel un cheminement du gaz naturel pour l'alimentation d'un équipement de production d'énergie pour la propulsion du navire et pour l'alimentation d'un équipement de production d'énergie pour la génération d'électricité est mis en évidence par un surlignage.
- 10 • **La figure 3** illustre le système de la figure 1, dans lequel un cheminement du gaz naturel pour l'alimentation d'un équipement de production d'énergie pour la génération d'électricité est mis en évidence par un surlignage.
- **La figure 4** illustre le système de la figure 1, dans lequel un cheminement du gaz naturel vers un brûleur d'une installation de production d'énergie pour la valorisation de la fraction lourde du gaz naturel est mis en exergue.
- 15 • **La figure 5** illustre le système de la figure 1, dans lequel un cheminement de gaz naturel, évaporé dans la cuve, vers le brûleur de l'installation de production d'énergie est mis en exergue.
- **La figure 6** illustre le système de la figure 1, dans lequel un cheminement du gaz naturel lors de la mise en œuvre d'un procédé de chauffage de la cuve est  
20 mis en évidence.
- **La figure 7** illustre un navire équipé d'une cuve de stockage de gaz et d'un équipement de production d'énergie alimenté au gaz naturel pour la propulsion du navire.

#### **Description détaillée de modes de réalisation**

- 25 Dans la description et les revendications, les termes "amont" et "aval" sont définis par rapport au sens de circulation du gaz naturel.

La figure 7 représente un navire 1 équipé d'une ou plusieurs cuves 2 de stockage de gaz naturel liquéfié et d'un groupe motopropulseur comportant un ou plusieurs équipements de production d'énergie 4, choisis parmi les moteurs  
30 thermiques, les piles à combustion ou les turbines à gaz, alimentés au gaz naturel.

Un tel navire 1 peut notamment être un méthanier destiné au transport de gaz naturel liquéfié, mais peut également être destiné à toutes autres applications. A titre d'exemple, il peut s'agir d'un navire de transport de marchandises, d'un navire de transport de passagers, d'un navire de pêche ou autres.

5 La figure 1 représente une cuve 2 de stockage de gaz naturel ainsi qu'un système 3, embarqué à bord du navire 1, de traitement et d'acheminement du gaz naturel. Le système 3 de traitement et d'acheminement du gaz naturel est adapté pour l'alimentation d'un équipement de production d'énergie 4 du groupe motopropulseur, tel que représenté sur la figure 2, pour l'alimentation d'un brûleur 5,  
10 tel que représenté sur les figures 4, 5 et 6 et, optionnellement, pour l'alimentation d'un autre équipement de production d'énergie, tel qu'un moteur thermique, une pile à combustion ou une turbine à gaz 6 d'un générateur électrique, tel que représenté sur les figures 2 et 3.

La cuve 2 est une cuve étanche et thermiquement isolante adaptée pour le  
15 stockage de gaz naturel liquéfié (GNL). La cuve 2 peut notamment être du type à membranes permettant de stocker le gaz naturel liquéfié, à pression atmosphérique.

L'équipement de production d'énergie 4 du groupe motopropulseur est choisi parmi les moteurs thermiques, les piles à combustion et les turbines à gaz. Lorsque l'équipement de production d'énergie 4 est un moteur thermique, le moteur  
20 peut être à alimentation mixte diesel-gaz naturel. De tels moteurs 4 peuvent fonctionner, soit en mode diesel dans lequel le moteur est intégralement alimenté en diesel soit en mode gaz naturel dans lequel le combustible du moteur est principalement constitué de gaz naturel alors qu'une faible quantité de diesel pilote est injectée pour initier la combustion.

25 L'arbre de sortie associé à l'énergie mécanique générée par l'équipement de production d'énergie 4 peut soit être accouplé à une ou plusieurs hélices pour la propulsion du navire, soit être accouplé à un alternateur permettant de transformer l'énergie mécanique en énergie électrique, l'énergie électrique étant dans ce cas utilisée pour l'alimentation d'un moteur électrique accouplé à une hélice pour la  
30 propulsion du navire. Dans cette dernière alternative, si un moteur thermique est appliqué, il peut notamment être un moteur de technologie DFDE pour « Dual Fuel Diesel Electric » en langue anglaise.

L'équipement de production d'énergie 6 pour la génération d'électricité peut être un moteur thermique à alimentation mixte diesel-gaz naturel, par exemple de type DFDE, une pile à combustion ou une turbine à gaz.

Le bruleur 5 est intégré à une installation de production d'énergie.

- 5 L'installation de production d'énergie peut notamment comporter une chaudière de production de vapeur. La vapeur peut être destinée à alimenter des turbines à vapeur pour la production d'énergie et/ou à alimenter un réseau de chauffage du navire 1.

- La figure 2 illustre deux circuits alimentant respectivement l'équipement de production d'énergie 4 du groupe motopropulseur et l'équipement de production d'énergie 6 pour la génération d'électricité. Le circuit alimentant l'équipement de production d'énergie 4 du groupe motopropulseur sera par la suite désigné par « circuit principal » alors que le circuit alimentant l'équipement de production d'énergie 6 pour la production d'électricité sera désigné par « circuit secondaire ».
- 10 15 Notons que le circuit principale peut également être utilisé afin d'acheminer le gaz naturel vers le circuit secondaire. Un tel agencement permet d'assurer une redondance de l'alimentation du circuit secondaire, de sorte à pallier à d'éventuels dysfonctionnements.

- Le circuit principal comporte une canalisation d'aspiration 7a débouchant vers le fond de la cuve 2 et alimentée par une pompe 8a. La canalisation d'aspiration 7a conduit le gaz naturel liquéfié vers un raccordement à trois voies 23 permettant de raccorder la canalisation d'aspiration 7a, d'une part, à une canalisation 24, équipée d'une vanne 123, raccordée à l'entrée d'une installation de vaporisation forcée 9a, également appelée évaporateur, et, d'autre part à une canalisation 25, équipée d'une vanne 223, raccordée à un pulvérisateur 10a.
- 20 25 L'installation de vaporisation forcée 9a permet de transformer le gaz naturel liquéfié en flux gazeux. La sortie de l'installation de vaporisation forcée 9a est raccordée par un conduit 26 au pulvérisateur 10a afin de conduire le flux gazeux vers ledit pulvérisateur 10a. Le pulvérisateur 10a est apte à pulvériser, dans le flux gazeux, obtenu à la sortie de l'installation de vaporisation forcée 9a, du gaz naturel liquéfié collecté en amont de ladite installation de vaporisation forcée 9a. Le pulvérisateur 10a permet ainsi de refroidir le flux gazeux de telle sorte que les hydrocarbures les plus lourds, c'est-à-dire ceux présentant la chaîne carbonée la plus longue et les
- 30

températures d'évaporation les plus élevées se condensent. Le flux gazeux est typiquement refroidi à une température inférieure à  $-100^{\circ}\text{C}$ .

En sortie du pulvérisateur 10a, le flux gazeux chargé de gouttelettes de gaz naturel en suspension est conduit vers un séparateur de phases 11a via la  
5 canalisation 27. Ce séparateur de phases 11a, parfois appelé séparateur de brouillard, ou « mist separator » en langue anglaise, permet de séparer la phase liquide de la phase gazeuse. La phase liquide est constituée d'une fraction lourde du gaz naturel comportant les hydrocarbures les plus lourds, c'est-à-dire présentant la chaîne carbonée la plus longue. La fraction lourde du gaz naturel est renvoyée  
10 sous forme de condensats vers la cuve de stockage 2 via une canalisation de retour de condensats 12a. La canalisation de retour de condensats 12a est équipée d'un récipient 72a de récupération des condensats qui est régulièrement purgé lorsque son niveau de condensats atteint un seuil.

La phase gazeuse, constituée de la fraction légère du gaz naturel  
15 comportant les hydrocarbures présentant la chaîne carbonée la plus courte, est quant à elle conduite, via la canalisation 28, vers un appareil de chauffage du gaz 13 permettant de chauffer la phase gazeuse à une température typique de  $30^{\circ}\text{C}$ . Un tel appareil de chauffage du gaz 13 est typiquement un échangeur de chaleur gaz/liquide ou gaz/gaz. L'appareil de chauffage du gaz 13 est ici équipé d'une  
20 boucle de recirculation 29.

Enfin, en sortie de l'appareil de chauffage du gaz 13a, le flux gazeux peut être conduit vers l'équipement de production d'énergie 4 du groupe motopropulseur via la canalisation 30.

De manière similaire, le circuit secondaire comporte une canalisation  
25 d'aspiration 7b débouchant vers le fond de la cuve 2 et alimentée par une pompe 8b. La canalisation d'aspiration 7b permet d'amener le gaz naturel liquéfié vers une installation de vaporisation forcée 9b et vers deux pulvérisateur 10b et 31. Pour ce faire, la canalisation d'aspiration 7b est raccordée via un raccordement à trois voies 32, d'une part à une canalisation 33, équipée d'une vanne 132, conduisant à un  
30 pulvérisateur 31 et, d'autre part, à une canalisation 34, équipée d'une vanne 232, et elle-même raccordée à un raccordement à trois voies 35 permettant de raccorder ladite canalisation 34, d'une part, au pulvérisateur 10b via la canalisation 36,

équipée d'une vanne 135 et, d'autre part, à l'entrée de l'installation de vaporisation forcée 9b via la canalisation 17, équipée d'une vanne 235.

La sortie de l'installation de vaporisation forcée 9b est raccordée par une série de canalisations 37, 38, 39 aux pulvérisateurs 10a, 31 permettant de  
5 pulvériser du gaz naturel liquéfié de sorte à condenser les hydrocarbures les plus lourds. Le flux gazeux, en sortie du pulvérisateur 31, est conduit à l'entrée d'un séparateur de phases 11b via une canalisation 40.

De manière similaire, le séparateur de phases 11b permet de séparer la phase liquide de la phase gazeuse et de retourner les condensats vers la cuve 2 via  
10 une canalisation de retour des condensats 12b. La canalisation de retour des condensats 12b est équipée d'un récipient 72b de récupération des condensats qui est régulièrement purgé lorsque son niveau de condensats atteint un seuil.

D'autre part, en sortie du séparateur de phases 11b, la phase gazeuse, constituée de la fraction légère du gaz naturel, est conduite, via une canalisation 42  
15 vers un ou plusieurs compresseurs 16a, 16b disposés en parallèle. Afin de permettre, l'acheminement du flux gazeux, en parallèle, vers plusieurs compresseurs 16a, 16b, la canalisation 42 est pourvue d'un ou plusieurs raccords multi-voies 43 conduisant vers des canalisations équipées de vannes 143, 243. Sur la figure 2, le flux gazeux n'est conduit qu'au travers d'un des  
20 deux compresseurs 16a, 16b. Toutefois, en fonction de la consigne de débit d'alimentation de l'équipement de production d'énergie 4 ou 6, il pourra être envisagé de faire transiter le flux gazeux, en parallèle, au travers des deux compresseurs 16a, 16b.

Par exemple, les compresseurs 16a, 16b sont des compresseurs multi-  
25 étagés, permettant de chauffer le flux gazeux et de le comprimer à des pressions compatibles avec les spécifications des équipements de production d'énergie 6 alimentés en gaz naturel, par exemple de l'ordre de 5 à 6 bars absolus pour les moteurs thermiques type DFDE. Le compresseur 16a, 16b peut être un compresseur volumétrique, un compresseur centrifuge ou de tout autre type  
30 compatible avec les pressions d'alimentation en entrée d'un moteur thermique, d'une pile à combustion, ou d'une turbine à gaz.

De manière avantageuse, le système 3 est équipé d'un dispositif de protection anti-instabilité ou « anti-surge » permettant de protéger le compresseur

16a, 16b contre les régimes à faible débit volumique en entrée. Un tel dispositif comporte, en sortie du compresseur 16a, 16b, une boucle de recirculation 44 qui permet de renvoyer une partie du flux gazeux comprimé, en amont dudit compresseur 16. La boucle de recirculation 44 est équipée d'une vanne 18a, 18b  
5 permettant de contrôler le débit dans la boucle de recirculation 44. Dans le mode de réalisation représenté, la boucle de recirculation 44 est raccordée à une canalisation 14, dont l'agencement sera décrit par la suite.

En sortie du (des) compresseur(s) 16a, 16b, le flux gazeux est conduit vers un appareil de refroidissement 19 permettant de contrôler la température du flux  
10 gazeux à une température de consigne. Lorsque le système comporte plusieurs compresseurs 16a, 16b en parallèle, les sorties des dits compresseurs 16a, 16b sont raccordées à l'entrée de l'appareil de refroidissement 19 via des raccords à trois voies 45, 63.

Enfin, en sortie de l'appareil de refroidissement 19, le flux gazeux est  
15 conduit vers l'équipement de production d'énergie 6 du générateur électrique via une canalisation 46. Notons que ladite canalisation 46 est équipée d'un raccordement à trois voies 47 dont les deux voies sortantes sont équipées de vannes 147, 247 permettant de diriger sélectivement le flux gazeux vers l'équipement de production d'énergie 6 du générateur électrique et/ou vers  
20 l'équipement de production d'énergie 4 du groupe motopulseur.

Notons en outre que, dans le mode de réalisation représenté, le circuit principal, permettant d'alimenter l'équipement de production d'énergie 4 du groupe motopulseur, n'est pas équipé d'un compresseur, contrairement au circuit secondaire car le circuit principal ainsi que la pompe 8a alimentant la canalisation  
25 d'aspiration 7a du circuit principal sont aptes à fournir des pressions en conformité avec les conditions de fonctionnement dudit équipement de production d'énergie 4.

Sur la figure 3, on a représenté l'acheminement du gaz au travers du circuit secondaire lorsque du gaz naturel évaporé dans la cuve de stockage est incorporé au circuit secondaire d'alimentation de l'équipement de production d'énergie 6.

30 Pour ce faire, le système 3 comporte une canalisation 71 débouchant en partie haute de la cuve 2. Un raccordement à trois voies 70 raccorde la canalisation 71 débouchant en partie haute de la cuve 2, au circuit secondaire via une canalisation 48 munie d'une vanne 170, et à une canalisation 49, munie d'une

vanne 270 et faisait partie d'un circuit de chauffage dont la fonction sera détaillée par la suite. Le raccordement à trois voies 70 ainsi que les vannes 170, 270 forment un organe de raccordement à trois voies commutables.

La canalisation 48 est, par ailleurs, raccordée via un raccordement à trois  
5 voies 50 à une canalisation 14. Le raccordement à trois voies 50 raccorde la canalisation 14 à une canalisation 51 équipée d'une vanne 150 et faisant partie du circuit de chauffage et à la canalisation 48 équipée de la vanne 170. Le raccordement à trois voies 50 ainsi que les vannes 150 et 170 forment également un organe de raccordement commutable.

10 La canalisation 14 est raccordée au circuit secondaire via un raccordement à trois voies 54 permettant de raccorder la sortie du pulvérisateur 10b et ladite canalisation 14 à l'entrée du pulvérisateur 31. Le gaz évaporé dans la cuve 2 est ainsi incorporé au flux gazeux en sortie de l'installation de vaporisation forcée 9b, avant d'être conduit vers le second pulvérisateur 31, ayant également pour fonction  
15 de contrôler la température du flux gazeux à l'entrée du séparateur de phases 11b en pulvérisant du gaz naturel à l'état liquéfié dans le flux gazeux. Ainsi, le circuit d'alimentation secondaire comporte, dans sa portion amont, un chemin d'amenée de gaz naturel évaporé, collecté dans la cuve 2, et un chemin de vaporisation forcée de gaz naturel.

20 Un tel chemin d'amenée de gaz, évaporé dans la cuve, est particulièrement approprié lorsque le gaz naturel liquéfié est stocké à température ambiante et qu'il en résulte une évaporation naturelle conséquente.

Les figures 4 et 5 illustrent le cheminement pour l'alimentation en gaz naturel du brûleur 5. La figure 4 illustre le chemin de vaporisation forcée du gaz  
25 naturel alors que la figure 5 illustre le chemin du gaz naturel évaporé, collecté dans la cuve 2. On notera que, dans les deux cas, le circuit pour l'alimentation du brûleur 5 court-circuite le séparateur de phases 11b de sorte à permettre une valorisation énergétique de la fraction lourde du gaz naturel.

Sur la figure 4, le circuit d'alimentation du brûleur 5 comporte une portion  
30 de circuit commune avec le circuit secondaire. Cette portion de circuit commune permet la vaporisation forcée du gaz naturel liquéfié et comporte la canalisation d'aspiration 8b alimentée par la pompe 8b, l'installation de vaporisation forcée 9b et, optionnellement, le pulvérisateur 10b.

En aval de l'installation de vaporisation forcée 9b, le système 3 de traitement et d'acheminement comporte un raccordement à trois voies 55 raccordant la sortie de l'installation de vaporisation forcée 9b vers la série de canalisations 38, 39, 40 équipées d'une vanne 155 et menant vers le séparateur de phases 11b, et une canalisation 56, équipée d'une vanne 255 permettant de court-circuiter ledit séparateur de phases 11b, afin de valoriser, dans le brûleur 5, la fraction lourde du gaz naturel. Ainsi, l'organe de raccordement commutable ainsi formé permet d'acheminer sélectivement la sortie de l'installation de vaporisation forcée 9b soit vers le séparateur de phases 11b, soit vers le brûleur 5.

La canalisation 56 conduit le flux gazeux, en sortie de l'installation de vaporisation forcée, vers un appareil de chauffage du gaz 57. L'appareil de chauffage du gaz 57 est, par exemple, un échangeur de chaleur gaz/liquide ou gaz/gaz. L'appareil de chauffage du gaz 57 est ici équipé d'une boucle de recirculation 58. L'appareil de chauffage du gaz 57 permet de chauffer la phase gazeuse, en amont dudit brûleur 5 à une température de consigne, typiquement de l'ordre de 30°C. A la sortie de l'appareil de chauffage du gaz 57, des canalisations 68, 59 permettent de mener le gaz vers le brûleur 5.

Sur la figure 5, le circuit d'alimentation du brûleur 5 comporte une autre portion de circuit commune avec le circuit secondaire. Cette portion de circuit commune permet la collecte du gaz naturel, évaporé dans la cuve 2. Cette portion de circuit commune comporte la canalisation 71 débouchant en partie haute de la cuve 2, la canalisation 48 raccordée à la canalisation 71 par le raccordement à trois voies 70 et la canalisation 14 raccordée à la canalisation 71 par le raccordement à trois voies 50. La canalisation 14 est, par ailleurs, connectée à un raccordement à trois voies 60 raccordant la canalisation 14 à la série de canalisations 39, 40 menant vers le séparateur de phases 11b et vers des vannes 143, 243 et à une canalisation 56, équipée d'une vanne 160, et permettant de court-circuiter ledit séparateur de phases 11b, afin de valoriser, dans le brûleur 5, la fraction lourde du gaz naturel.

Par la suite, comme nous l'avons détaillé précédemment en relation avec la figure 4, la canalisation 56 conduit le flux gazeux vers l'appareil de chauffage du gaz 57 puis, à la sortie de l'appareil de chauffage du gaz 57, des canalisations 68, 59 permettent de mener le gaz vers le brûleur 5.

Notons que, si le chemin du gaz naturel, évaporé dans la cuve 2, et le chemin de vaporisation forcée du gaz naturel sont illustrés sur deux figures différentes afin d'en faciliter la compréhension, il est tout à fait possible d'utiliser simultanément ces deux chemins pour conduire du gaz naturel vers le brûleur 5.

5 Le système 3 de traitement et d'acheminement du gaz naturel est avantageusement équipé d'un dispositif de contrôle d'une variable représentative de l'indice de méthane du gaz naturel liquéfié acheminé. L'indice de méthane indique la capacité du mélange gazeux à résister au phénomène indésirable de cliquetis et est compris entre 0 et 100. L'indice de méthane dépend de la composition du gaz  
10 naturel. L'indice du méthane pur est de 100. L'indice diminue lorsque la proportion des hydrocarbures plus lourds tels que le propane et/ou le butane et/ou le pentane augmente.

Un tel dispositif de contrôle d'une variable représentative de l'indice de méthane du gaz naturel peut notamment comporter un ou plusieurs débitmètres  
15 disposés en aval de l'un ou des deux séparateurs de phases 11a, 11b, dans la canalisation 42 par exemple, afin de mesurer le débit du flux gazeux de la fraction légère du gaz naturel. Ce débit est représentatif de l'indice de méthane du gaz naturel liquéfié acheminé. En effet, en régime continue, à débit de pompage constant, ce débit aura tendance à diminuer lorsque la cuve 2 se vide et que la  
20 concentration en hydrocarbures lourds augmente.

De manière alternative ou en complément, il est également possible de placer un capteur de température, par exemple dans la canalisation 48 permettant de conduire le gaz évaporé, collecté dans la cuve, afin de mesurer la température du gaz évaporé, collecté dans la cuve 2. En effet, plus la température du gaz  
25 évaporée est importante, plus celle-ci comporte une proportion d'hydrocarbures lourds importante, puisque l'on s'approche de la fin du voyage.

En outre, de manière alternative ou en complément, il est également possible d'enregistrer la fréquence de purge d'au moins un des récipients 72a, 72b de récupération des condensats et/ou de suivre l'évolution du niveau de condensats  
30 d'au moins un des récipients 72a, 72b.

Le dispositif de contrôle comporte également une unité de contrôle apte à recevoir et traiter les données collectées par au moins l'un des capteurs mentionnés ci-dessous. L'unité de contrôle compare la (les) variable(s) représentative(s) de

l'indice de méthane à un seuil. En fonction de cette comparaison, l'unité de contrôle est apte à générer une alarme ou à passer automatiquement d'un mode de fonctionnement dans lequel le gaz naturel alimente l'équipement de production d'énergie 4, 6 du groupe motopropulseur et/ou du générateur électrique à un mode  
5 de fonctionnement dans lequel la fraction lourde du gaz naturel est valorisé et conduite vers le brûleur 5 de l'installation de production d'énergie. En pratique, lorsque la variable représentative de l'indice de méthane correspond à un indice de méthane inférieur à un indice d'environ 80, l'unité de contrôle génère une alarme ou passe automatiquement en mode valorisation de la fraction lourde du gaz naturel.

10 Dans le mode de réalisation prévoyant un tel changement automatique de mode de fonctionnement, le dispositif de contrôle est apte à transmettre un signal de consigne à une plusieurs vannes 155, 255, 160, 143, 243 équipant les raccordement à trois voies 55 et 60 de sorte à faire bifurquer le flux gazeux vers le brûleur 5 en court-circuitant ledit séparateur de phases 11b.

15 Lorsque l'équipement de production d'énergie est un moteur à explosion à alimentation mixte gaz diesel, en parallèle au passage vers un mode de fonctionnement dans lequel la fraction lourde du gaz naturel est valorisée et conduite vers le brûleur 5, le moteur thermique 4 du groupe motopropulseur et/ou celui du générateur électrique 6 bascule en mode diesel afin de poursuivre la  
20 propulsion du navire et/ou la génération d'électricité.

La figure 6 illustre le cheminement du gaz naturel lorsque l'on met en œuvre un procédé permettant de réchauffer la cuve 2. Ce procédé est mis en œuvre lorsque la cuve 2 est quasiment vide, le reliquat de gaz naturel étant alors sous forme gazeuse dans la cuve 2.

25 Lors de la mise en œuvre du procédé de chauffage, le gaz naturel est collecté en partie basse de la cuve 2 au moyen d'une canalisation 52 débouchant en partie basse de la cuve 2.

Dans le mode de réalisation représenté, la canalisation 52 débouchant en partie basse de la cuve 2 est connectée à un organe de raccordement à trois voies  
30 commutable 53 permettant de raccorder sélectivement ladite canalisation 52, soit à une canalisation 51 de la portion amont du circuit de chauffage de sorte à permettre une collecte de flux gazeux en partie basse de la cuve 2, soit à un circuit 61 de

remplissage de la cuve 2 permettant d'acheminer du gaz naturel liquéfié d'un réservoir terrestre vers la cuve 2.

Par ailleurs, la canalisation 51 de la portion amont du circuit de chauffage est connectée, en aval, à un raccordement à trois voies 50. Les vannes 170, 150  
5 permettent de raccorder sélectivement soit la canalisation 51 de la portion amont du circuit de chauffage, soit la canalisation 48 permettant de conduire le gaz évaporé, collecté dans la cuve 2, à la canalisation 14.

La portion amont du circuit de chauffage peut ainsi être raccordée à l'entrée des compresseurs 16a, 16b via les canalisations 39, 40 et 42 de sorte à  
10 conduire le gaz collecté en partie basse de la cuve vers les compresseurs. La température du flux gazeux en sortie des compresseurs 16a, 16b, pour la mise en œuvre du procédé de chauffage de la cuve 2, est, par exemple, de l'ordre de 50°C.

La portion de circuit comportant les canalisations 14, 39, 40 et 42 ainsi qu'au moins un des compresseurs 16a, 16b est ainsi commune au circuit  
15 secondaire d'alimentation en gaz d'un équipement de production d'énergie 4, 6 et au circuit de chauffage. Dès lors, la conception du système 3 de traitement et d'acheminement des gaz est optimisé et au moins un des compresseurs 16a, 16b assure à la fois la préparation d'un flux gazeux pour l'alimentation d'un équipement de production d'énergie 4, 6 et la mise en œuvre d'un procédé de chauffage de la  
20 cuve 2.

En sortie des compresseurs 16a, 16b, des raccordements à trois voies 62, 63 raccordant la sortie des compresseurs 16a, 16b à des canalisations 64, 65 équipée de vannes 162, 163 et à des canalisations débouchant vers le circuit d'alimentation secondaire et équipées de vannes 262, 263. Lesdites canalisations  
25 64, 65 sont raccordées via des raccordements à trois voies 66, 67 à la canalisation 56 faisant partie du circuit d'alimentation du brûleur 6 menant à l'appareil de chauffage du gaz 57.

Ainsi, pour le chauffage de la cuve 2, le flux gazeux passe à la fois au travers des compresseurs 16a, 16b et au travers de l'appareil de chauffage 57. En  
30 sortie de l'appareil de chauffage du gaz 57, le flux gazeux présente, par exemple, une température de l'ordre de 80°C.

Par ailleurs, en sortie de l'appareil de chauffage du gaz 57, une canalisation 68 conduit à un raccordement à trois voies 69 qui permet d'évacuer une

partie du flux, en excès, vers le brûleur 5 via la canalisation 59 équipée d'une vanne 169 et de renvoyer l'autre partie du flux gazeux vers la cuve 2 via une canalisation 49 équipée d'une vanne 269 et formant un tronçon de retour vers la cuve 2.

On comprend ainsi que la canalisation 56, l'appareil de chauffage du gaz 5 57 ainsi que la canalisation 68 définissent une portion de circuit qui est commune au circuit de chauffage de la cuve 2 et au circuit d'alimentation en gaz du brûleur 5. Dès lors, les canalisations 64, 65 forment des tronçons de raccordement permettant de raccorder la sortie des compresseurs 16, 16b à la portion de circuit qui est commune au circuit de chauffage de la cuve 2 et au circuit d'alimentation en gaz du 10 brûleur 5.

La canalisation 49 formant un tronçon de retour vers la cuve 2 est raccordée, par le raccordement à trois voies 70, à la canalisation 71 débouchant en partie haute de la cuve 2. Ainsi, en fonction de la position des vannes 170, 270, la canalisation 71 débouchant en partie haute de la cuve 2 pourra être utilisée pour la 15 collecte du gaz évaporé dans la cuve 2 lorsque l'on souhaite alimenter un équipement de production d'énergie 4, 6 ou le brûleur 5, en gaz naturel, ou pour injecter du gaz chaud lorsque l'on souhaite chauffer la cuve 2.

Dès lors, pendant la mise en œuvre du procédé de chauffage de la cuve 2, du gaz chaud est injecté en partie haute de la cuve 2 tandis que le gaz est extrait en 20 partie basse de la cuve 2. Le gaz chaud ayant par nature tendance à se positionner en partie haute de la cuve 2, un tel agencement permet d'obtenir une stratification thermique de la cuve 2 qui augmente le rendement du procédé de chauffage de la cuve 2.

De manière connue en soi, tel que représenté sur la figure 7, des 25 canalisations de chargement/déchargement 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 2.

La figure 7 représente un exemple de terminal maritime comportant un poste d'approvisionnement en gaz naturel liquéfié 82, une conduite sous-marine 83 30 et une installation à terre 81. Le poste d'approvisionnement en gaz naturel liquéfié 82 est une installation fixe off-shore comportant un bras mobile 84 et une tour 85 qui supporte le bras mobile 84. Le bras mobile 84 porte tuyaux flexibles isolés 80 pouvant se connecter aux canalisations de chargement. Le bras mobile 84

orientable s'adapte à tous les gabarits de navires. Une conduite de liaison non représentée s'étend à l'intérieur de la tour 85. Le poste d'approvisionnement en gaz naturel liquéfié 82 permet le remplissage de la cuve du navire 1 depuis l'installation à terre 81. Celle-ci comporte des cuves de stockage de gaz liquéfié 86 et des conduites de liaison 87 reliées par la conduite sous-marine 83 au poste d'approvisionnement en gaz naturel liquéfié 82. La conduite sous-marine 83 permet le transfert du gaz liquéfié entre le poste d'approvisionnement en gaz naturel liquéfié 82 et l'installation à terre 81.

Pour engendrer la pression nécessaire au transfert du gaz liquéfié, on met en œuvre des pompes embarquées dans le navire 1 et/ou des pompes équipant l'installation à terre 81 et/ou des pompes équipant le poste de chargement et de déchargement 82.

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.

En particulier, si dans les modes de réalisation décrits ci-dessus, le navire ne comporte qu'une seule cuve de stockage du gaz naturel liquéfié, il est également possible de raccorder le système de traitement et d'acheminement du gaz à une pluralité de cuves de stockage. Les cuves de stockage sont, dans ce cas, chacune équipées de canalisations d'aspiration alimentées par des pompes et de canalisations débouchant en partie haute et en partie basse de la cuve, raccordées aux circuits du système de traitement tel que décrit ci-dessus.

On note par ailleurs que si le terme d'organe de raccordement a été utilisé ci-dessus pour décrire l'association d'un raccordement à trois voies avec plusieurs vannes équipant une ou plusieurs canalisations entrantes ou une ou plusieurs canalisations sortantes, ce terme s'étend à tous les équivalents techniques permettant de raccorder deux canalisations entrantes à une canalisation sortante ou une canalisation entrante à deux canalisations sortantes, et équipés de moyens permettant, selon les circonstances, d'opérer une sélection pour privilégier soit un flux provenant d'une des deux canalisations entrantes soit un flux en direction de l'une des deux canalisations sortantes ou de répartir soit un flux entrant vers deux flux sortants soit deux flux entrants vers un flux sortant.

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  
5 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. Système de traitement et d'acheminement de gaz naturel comportant :
  - un circuit d'alimentation d'un équipement de production d'énergie choisi parmi un moteur thermique, une pile à combustion, ou une turbine à gaz, permettant  
5 d'acheminer du gaz naturel depuis une cuve (2) de stockage de gaz naturel liquéfié vers ledit équipement de production d'énergie (4, 6), ledit circuit d'alimentation comportant une portion amont raccordée à la cuve (2) et une portion aval raccordée à l'équipement de production d'énergie (4, 6) ;
  - un circuit d'alimentation d'un brûleur permettant d'acheminer du gaz naturel  
10 depuis la cuve (2) vers le brûleur (5) comportant une portion amont raccordée à la cuve (2) et une portion aval raccordée au brûleur (5) ;
  - un circuit de chauffage de la cuve (2) apte à collecter un flux gazeux en partie basse de la cuve (2) et à l'injecter en partie haute de la cuve (2), ledit circuit de chauffage comportant une portion amont raccordée à une canalisation (52)  
15 débouchant en partie basse de la cuve (2) et une portion aval raccordée à une canalisation (71) débouchant en partie haute de la cuve (2) ; dans lequel :
    - le circuit d'alimentation de l'équipement de production d'énergie et le circuit de chauffage comportent une portion de circuit commune qui comprend un compresseur (16a, 16b) présentant une entrée et une sortie et permettant  
20 d'augmenter la pression et la température d'un flux gazeux, ladite portion commune étant délimitée, en amont, par un premier organe de raccordement à trois voies commutable (50, 150, 170) permettant de raccorder sélectivement la portion amont du circuit d'alimentation de l'équipement de production d'énergie ou la portion amont du circuit de chauffage à l'entrée du compresseur (16a, 16b)  
25 et, en aval, par un deuxième organe de raccordement à trois voies commutable (62, 162, 262 ; 63, 163, 263) permettant de raccorder sélectivement la sortie du compresseur à la portion aval du circuit d'alimentation de l'équipement de production d'énergie ou à la portion aval du circuit de chauffage ;
    - la portion aval du circuit de chauffage comportant un troisième organe de  
30 raccordement à trois voies (69) permettant de raccorder ladite portion aval du circuit de chauffage à la portion aval du circuit d'alimentation du brûleur (5) de sorte à évacuer une partie du flux gazeux acheminé dans le circuit de chauffage vers le brûleur (5).

2. Système selon la revendication 1, dans lequel la portion aval du circuit de chauffage comporte un tronçon de raccordement (64, 65) à la sortie du compresseur et un tronçon de retour (49) vers la cuve (2) et dans lequel la portion aval du circuit de chauffage et le circuit d'alimentation du brûleur  
5 comportent une portion commune qui comprend un appareil de chauffage de gaz (57) présentant une entrée et une sortie, ladite portion commune étant délimitée, en amont par un quatrième organe de raccordement à trois voies commutable (66, 67, 160, 162, 163) permettant de raccorder sélectivement la portion amont du circuit d'alimentation du brûleur (5) ou le tronçon de  
10 raccordement (64, 65) à la sortie du compresseur (16a, 16b) du circuit de chauffage à l'entrée de l'appareil de chauffage (57) et, en aval, par le troisième organe de raccordement à trois voies (69, 169, 269) qui permet de raccorder concomitamment la sortie de l'appareil de chauffage de gaz (57) à la portion aval du circuit d'alimentation du brûleur et au tronçon de retour (49) vers la cuve  
15 du circuit de chauffage.
3. Système selon la revendication 1 ou 2, comportant un organe de raccordement à trois voies commutable (70, 170, 270) permettant de raccorder sélectivement ladite canalisation (71) débouchant en partie haute de la cuve, d'une part, à la  
20 portion aval du circuit de chauffage de sorte à permettre une injection du flux gazeux en partie haute de la cuve (2) ou, d'autre part, à la portion amont du circuit d'alimentation de l'équipement de production d'énergie (4, 6) et/ou à la portion amont du circuit d'alimentation du brûleur afin de permettre une collecte du gaz, évaporé dans la cuve (2).
4. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, comportant un circuit  
25 de remplissage (61) de la cuve et un organe de raccordement à trois voies commutable (53) permettant de raccorder sélectivement ladite canalisation (52) débouchant en partie basse de la cuve (2), d'une part, à la portion amont du circuit de chauffage de sorte à permettre une collecte de flux gazeux en partie basse de la cuve (2) ou, d'autre part, au circuit de remplissage de la cuve.
- 30 5. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel le circuit d'alimentation de l'équipement de production d'énergie comporte un séparateur de phases (11a) connecté, en aval, d'une part, à un conduit de retour (12a)

- permettant de retourner, sous forme de condensat, vers la cuve (2), une fraction lourde du gaz naturel comportant les hydrocarbures présentant la chaîne carbonée la plus longue et, d'autre part, à un conduit (42) raccordé à l'entrée du compresseur (4) pour conduire une fraction légère du gaz naturel comportant les hydrocarbures présentant la chaîne carbonée la plus courte.
- 5
6. Système selon la revendication 5, et dans lequel le circuit d'alimentation du brûleur (5) court-circuite ledit séparateur de phases (11a).
7. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel le compresseur (16a, 16b) est un compresseur multi-étagé.
- 10 8. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, comportant un dispositif de protection du compresseur, ledit dispositif de protection comportant, une boucle de recirculation (44) équipée d'une vanne (18a, 18b) permettant de renvoyer en amont du compresseur (16a, 16b) un flux gazeux collecté en aval dudit compresseur (16a, 16b).
- 15 9. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel la portion de circuit commune au circuit d'alimentation de l'équipement de production d'énergie (4, 6) et au circuit de chauffage comprend une pluralité de compresseurs (16a, 16b) agencés en parallèle.
- 20 10. Navire comportant une cuve (2) de stockage de gaz liquéfié, un équipement de production d'énergie (4, 6) choisi parmi un moteur thermique, une pile à combustion et une turbine à gaz (4, 6), une installation de production d'énergie équipée d'un brûleur (5) et un système de traitement et d'acheminement du gaz naturel selon l'une quelconque des revendications 1 à 9.
- 25 11. Navire selon la revendication 10, dans lequel l'équipement de production d'énergie (4, 6) est destiné à assurer la propulsion du navire.
12. Procédé de remplissage d'une cuve d'un navire (1) selon la revendication 11, dans lequel on achemine un fluide à travers des canalisations isolées (80) depuis une installation de stockage flottante ou terrestre (81) vers la cuve (2) du navire (1).

13. Système de transfert pour un fluide, le système comportant un navire (1) selon la revendication 11, des canalisations isolées (80) agencées de manière à relier la cuve (2) installée dans la coque du navire à une installation de stockage flottante ou terrestre (81) et une pompe pour entraîner un flux de fluide à travers les canalisations isolées depuis l'installation de stockage flottante ou terrestre vers la cuve du navire.
- 5