

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) Nº de publication :

**3 134 615**

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

(21) Nº d'enregistrement national :

**22 03564**

(51) Int Cl<sup>8</sup> : **F 17 C 3/06** (2022.01), B 63 B 25/16

(12)

## BREVET D'INVENTION

**B1**

(54) Installation pour le stockage et/ou le transport de gaz liquéfié.

(22) Date de dépôt : 15.04.22.

(30) Priorité :

(43) Date de mise à la disposition du public  
de la demande : 20.10.23 Bulletin 23/42.

(45) Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention : 09.08.24 Bulletin 24/32.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche :

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

(60) Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

Demande(s) d'extension :

(71) Demandeur(s) : GAZTRANSPORT ET TECHNIGAZ  
Société Anonyme à conseil d'administration — FR.

(72) Inventeur(s) : MOREL Benoît, DE COMBARIEU  
Guillaume et SALMON LEGAGNEUR Guillaume.

(73) Titulaire(s) : GAZTRANSPORT ET TECHNIGAZ  
Société Anonyme à conseil d'administration.

(74) Mandataire(s) : LOYER & ABELLO.

FR 3 134 615 - B1



## Description

### **Titre de l'invention : Installation pour le stockage et/ou le transport de gaz liquéfié**

#### **Domaine technique**

[0001] L'invention se rapporte au domaine des installations pour le stockage et/ou le transport de gaz liquéfié à basse température. En particulier, l'invention se rapporte au domaine des installations comprenant une cuve étanche et thermiquement isolante pour le stockage et/ou le transport de gaz liquéfié à basse température, telle qu'une cuve pour le transport d'hydrogène liquide, qui est à environ -253°C à pression atmosphérique mais peut aussi être stocké sous une pression plus élevée. Ces installations peuvent être installées à poste fixe ou sur tout véhicule terrestre ou flottant.

#### **Arrière-plan technologique**

[0002] Il est connu des installations comprenant une cuve à membrane pour le stockage et/ou le transport de gaz naturel liquéfié à pression atmosphérique. La cuve comprend, par exemple, une paroi de cuve présentant successivement, dans le sens de l'épaisseur, depuis l'intérieur vers l'extérieur de la cuve, une membrane d'étanchéité primaire destinée à être en contact avec le gaz naturel liquéfié, une barrière thermiquement isolante primaire, une membrane d'étanchéité secondaire, une barrière thermiquement isolante secondaire et une structure porteuse définissant la forme générale de la cuve.

[0003] Les membranes d'étanchéité primaire et secondaire délimitent entre elles un espace primaire qui contient la barrière isolante primaire et qui est généralement rempli d'azote pour éviter les risques d'inflammation en cas de fuite.

[0004] De l'azote alimente également l'espace secondaire défini par l'espacement entre la membrane d'étanchéité secondaire et la structure porteuse.

[0005] Les membranes d'étanchéité d'une telle cuve peuvent présenter des fuites entraînant le passage de gaz naturel liquéfié de l'intérieur de la cuve vers les barrières thermiquement isolantes, primaire et/ou secondaire. Or, lorsqu'un gaz liquéfié à basse température envahit l'espace primaire, les espaces primaire et secondaire sont refroidis très rapidement.

#### **Résumé**

[0006] Certains aspects de l'invention partent du constat que, si la température de l'espace primaire ou secondaire devait descendre en dessous du point de liquéfaction de l'azote, à savoir -196°C à pression atmosphérique, la liquéfaction de l'azote pourrait poser un problème majeur car l'azote liquide pourrait s'écouler par gravité, notamment dans l'espace secondaire jusque sur la surface interne de la structure porteuse. Or, la structure porteuse n'est généralement pas conçue pour atteindre une température aussi

basse et risquerait une fragilisation inacceptable.

- [0007] Ainsi, il existe un besoin de trouver une solution permettant d'éviter la formation de liquide froid dans l'espace primaire ou secondaire d'une installation pour le stockage et/ou le transport de gaz liquéfié à basse température comme l'hydrogène.
- [0008] Une idée à la base de l'invention est de fournir une installation qui résout les problèmes susmentionnés.
- [0009] Une autre idée à la base de l'invention est d'utiliser essentiellement du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) en tant que gaz inerte dans l'espace secondaire d'une cuve étanche et thermiquement isolante contenant du gaz liquéfié, notamment lorsque ladite cuve contient de l'hydrogène liquide.
- [0010] Une autre idée à la base de l'invention est de réaliser un procédé d'inertage de l'espace secondaire d'une telle cuve étanche et thermiquement isolante.
- [0011] Une autre idée à la base de l'invention est de réaliser un procédé de détection d'une fuite dans une telle cuve étanche et thermiquement isolante.
- [0012] A cet effet, l'invention propose une installation pour le stockage et/ou le transport et/ou transfert d'un gaz liquéfié, préférentiellement de l'hydrogène liquéfié, ladite installation comportant un contenant étanche et thermiquement isolant, le contenant étanche et thermiquement isolant comprenant :
  - une paroi externe étanche,
  - une membrane étanche secondaire située à distance d'un côté intérieur de la paroi externe et définissant un espace secondaire entre la paroi externe et la membrane étanche secondaire,
  - une barrière thermiquement isolante secondaire et une phase gazeuse secondaire disposées dans l'espace secondaire, l'espace secondaire étant délimité par la paroi externe, la membrane étanche secondaire étant portée par la barrière thermiquement isolante secondaire,
  - une membrane étanche primaire située à distance d'un côté intérieur de la membrane étanche secondaire et définissant un espace primaire entre la membrane étanche secondaire et la membrane étanche primaire, la membrane étanche primaire étant destinée à être en contact avec le gaz liquéfié, préférentiellement l'hydrogène liquéfié contenu dans le contenant,
  - une barrière thermiquement isolante primaire disposée dans l'espace primaire, la membrane étanche primaire étant portée par la barrière thermiquement isolante primaire,ladite installation comportant un dispositif d'inertage relié à l'espace secondaire pour maintenir la phase gazeuse secondaire sous la forme d'une composition gazeuse constituée d'une ou plusieurs espèces chimiques principales, et éventuellement d'une ou plusieurs espèces chimiques résiduelles,

le dispositif d'inertage étant configuré pour maintenir la phase gazeuse secondaire à une pression absolue supérieure à 10 kPa, dans laquelle la pression partielle de la ou chaque espèce chimique principale est inférieure au point triple de ladite espèce chimique principale,

et dans laquelle la pression partielle de la ou chaque espèce chimique résiduelle est inférieure à 0,14 kPa.

- [0013] Selon un premier objet, l'invention fournit une installation pour le stockage et/ou le transport d'un gaz liquéfié, préférentiellement de l'hydrogène liquéfié, le contenant étanche et thermiquement isolant étant une cuve étanche et thermiquement isolante, la cuve étanche et thermiquement isolante comprenant :
- une paroi externe étant une structure porteuse étanche,
  - une membrane étanche secondaire située à distance d'un côté intérieur de la structure porteuse et définissant un espace secondaire entre la structure porteuse et la membrane étanche secondaire,
  - une barrière thermiquement isolante secondaire et une phase gazeuse secondaire disposées dans l'espace secondaire, la barrière thermiquement isolante secondaire étant ancrée à la structure porteuse, la membrane étanche secondaire étant portée par la barrière thermiquement isolante secondaire,
  - une membrane étanche primaire située à distance d'un côté intérieur de la membrane étanche secondaire et définissant un espace primaire entre la membrane étanche secondaire et la membrane étanche primaire, la membrane étanche primaire étant destinée à être en contact avec un gaz liquéfié, préférentiellement de l'hydrogène liquéfié contenu dans la cuve,
  - une barrière thermiquement isolante primaire disposée dans l'espace primaire, la membrane étanche primaire étant portée par la barrière thermiquement isolante primaire,
  - ladite installation comportant un dispositif d'inertage relié à l'espace secondaire pour maintenir la phase gazeuse secondaire sous la forme d'une composition gazeuse constituée d'une ou plusieurs espèces chimiques principales, et éventuellement d'une ou plusieurs espèces chimiques résiduelles,
  - le dispositif d'inertage étant configuré pour maintenir la phase gazeuse secondaire à une pression absolue supérieure à 10 kPa, dans laquelle la pression partielle de la ou chaque espèce chimique principale est inférieure au point triple de ladite espèce chimique principale,
  - et dans laquelle la pression partielle de la ou chaque espèce chimique résiduelle est inférieure à 0,14 kPa.

- [0014] Grâce à ces caractéristiques, les inventeurs ont découvert qu'utiliser une telle composition gazeuse dans la phase gazeuse secondaire permet, en cas de fuite d'hydrogène

liquide, d'éviter ou fortement limiter la formation de liquide froid dans l'espace secondaire. En effet, en réponse à une chute de température au niveau de la membrane secondaire, la ou les espèces chimiques principales initialement en phase gazeuse peuvent se condenser en phase solide, sous la forme d'un solide plus ou moins poreux, par exemple sous la forme de neige ou de glaçons, sans passer par l'état liquide. De plus, une telle phase solide tend à adhérer à l'emplacement où elle se forme, par exemple à la membrane secondaire, et ne s'écoule pas dans l'espace secondaire. Le risque d'atteindre la structure porteuse et/ou de créer un pont thermique à travers l'espace secondaire se trouve donc fortement réduit.

- [0015] La pression totale de la phase gazeuse secondaire peut être égale à la pression atmosphérique ou une pression plus haute ou plus basse, dans les limites imposées par la résistance mécanique des membranes étanches. Le seuil de 0,14 kPa, qui est le point triple du dioxygène, assure que le dioxygène résiduel, le cas échéant, ne peut pas se condenser en phase liquide, ce qui réduit des dangers inhérents à l'oxygène liquide, tels que corrosion, oxydation, combustion ou explosion.
- [0016] Grâce à ces caractéristiques, le risque d'endommagement de la structure porteuse est donc fortement diminué.
- [0017] De plus, lorsqu'une fuite d'hydrogène liquide survient dans l'espace primaire, la ou les espèces chimiques principales peuvent passer de l'état gazeux à l'état solide au contact de la membrane secondaire. Ce changement d'état se traduit par une diminution de la pression car la ou les espèces chimiques principales à l'état solide sont bien plus denses qu'à l'état gazeux. Ce phénomène peut être exploité pour détecter des fuites.
- [0018] Selon des modes de réalisation, une telle installation pour le stockage et/ou le transport d'hydrogène liquéfié peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes.
- [0019] Selon des modes de réalisation, la composition gazeuse comporte au moins une espèce chimique principale sélectionnée dans le groupe constitué de : diazote, dioxyde de carbone et argon.
- [0020] Selon des modes de réalisation, ladite ou chaque espèce chimique principale est sélectionnée dans le groupe constitué de : diazote, dioxyde de carbone et argon.
- [0021] Le point triple du diazote se situe à 12,5 kPa à 64K. Le point triple du dioxyde de carbone se situe à 519 kPa à 217K. Le point triple de l'argon se situe à 68,7 kPa à 83,75 K.
- [0022] La barrière thermiquement isolante primaire doit assurer que la température de service de la membrane secondaire reste supérieure au point de condensation de la ou les espèces chimiques principales à la pression de service. Notamment, si l'espèce chimique principale est du dioxyde de carbone, ce point de condensation est proche de

-80°C pour une pression de service proche de la pression atmosphérique. Par exemple, la barrière thermiquement isolante primaire peut être conçue pour que la température de service de la membrane secondaire soit normalement proche de -50°C.

- [0023] Selon un mode de réalisation, l'espèce chimique principale comporte le dioxyde de carbone, le dioxyde de carbone constituant au moins 33 % en volume de la phase gazeuse secondaire, préférentiellement au moins 89 % en volume de la phase gazeuse secondaire, de manière encore plus préférée au moins 99.4 % en volume de la phase gazeuse secondaire. Par exemple, le dioxyde de carbone constitue 90%, 91%, 92 %, 93 %, 94 %, 95 %, 96 %, 97 %, 98 % ou 99 % en volume de la phase gazeuse secondaire.
- [0024] Ainsi, plus le pourcentage de dioxyde de carbone en volume est important dans la phase gazeuse secondaire, plus le risque de condensation en phase liquide d'autres gaz présents dans la phase gazeuse secondaire en réponse à une diminution de température diminue.
- [0025] Selon un mode de réalisation, l'espèce chimique principale comporte l'argon, l'argon pouvant constituer au moins 50% en volume de la phase gazeuse secondaire, préférentiellement au moins 99 % en volume de la phase gazeuse secondaire. C'est-à-dire que l'argon constitue par exemple au moins 60 %, 70 %, 80 %, 90 %, 95 % en volume de la phase gazeuse secondaire. Dans tous les cas, la pression partielle d'argon de la phase gazeuse secondaire est inférieure à son point triple, soit 68,7 kPa.
- [0026] Selon un mode de réalisation, l'espèce chimique principale comporte le diazote, la pression partielle du diazote étant inférieure à son point triple, soit 12,5 kPa.
- [0027] Selon un mode de réalisation, le dispositif d'inertage inclut au moins une source de gaz, la source de gaz comportant un réservoir de gaz rempli d'une dite espèce principale ou un générateur de gaz apte à générer une dite espèce principale.
- [0028] Selon un mode de réalisation, la source de gaz est une source de diazote.
- [0029] Selon un mode de réalisation, la source de gaz est une source d'argon.
- [0030] Selon un mode de réalisation, la source de gaz est une source de dioxyde de carbone.
- [0031] Selon un mode de réalisation, la source de dioxyde de carbone comprend un génératrice de dioxyde de carbone apte à générer du dioxyde de carbone à partir de l'air atmosphérique et d'une source d'hydrocarbure, ou de préférence un réservoir de dioxyde de carbone sous pression.
- [0032] Selon un mode de réalisation, le dispositif d'inertage inclut une première source de gaz, la première source de gaz comportant un réservoir de gaz rempli d'une première dite espèce principale ou un générateur de gaz apte à générer une première dite espèce principale, et une deuxième source de gaz, la deuxième source de gaz comportant un réservoir de gaz rempli d'une deuxième dite espèce principale ou un générateur de gaz apte à générer une deuxième dite espèce principale.
- [0033] Selon un mode de réalisation, la première source de gaz est la source de dioxyde de

carbone et la deuxième source de gaz est la source de diazote.

- [0034] Selon un mode de réalisation, la première source de gaz est la source de dioxyde de carbone et la deuxième source de gaz est la source d'argon.
- [0035] Selon un mode de réalisation, la première source de gaz est la source de diazote et la deuxième source de gaz est la source d'argon.
- [0036] Selon un mode de réalisation, l'espace primaire contient une phase gazeuse primaire présentant une pression inférieure à la pression de la phase gazeuse secondaire.
- [0037] Selon un mode de réalisation, l'espace primaire contient une phase gazeuse primaire présentant une pression absolue inférieure à 1 Pa. Grâce à une telle mise sous vide de l'espace primaire, de très bonnes propriétés d'isolation thermique peuvent être obtenues..
- [0038] Selon un mode de réalisation, l'installation pour le stockage et/ou le transport d'hydrogène liquéfié comporte en outre un capteur de pression apte à détecter une pression dans l'espace secondaire et un dispositif d'alerte, le dispositif d'alerte étant apte à générer une alerte en réponse à une détection par le capteur de pression de ce que la pression de la phase gazeuse secondaire est inférieure à un seuil de pression.
- [0039] Grâce à ces caractéristiques, il est possible de détecter une baisse de pression dans l'espace secondaire susceptible d'être causée par une fuite d'hydrogène liquide.
- [0040] Selon un mode de réalisation, la barrière thermiquement isolante primaire comporte une pluralité de piliers de soutien s'étendant selon une direction de l'épaisseur de la barrière thermiquement isolante primaire afin de maintenir une distance entre la membrane étanche secondaire et la membrane étanche primaire. Grâce à ces caractéristiques, il est possible de soutenir solidement la membrane étanche primaire pour faire un vide poussé dans l'espace primaire sans risquer de rompre la membrane étanche primaire.
- [0041] La membrane étanche secondaire peut être faite de différentes manières. Selon un mode de réalisation, la membrane secondaire présente une pluralité d'ondulations secondaires et des portions planes situées entre les ondulations secondaires, les portions planes reposant sur la barrière thermiquement isolante secondaire.
- [0042] Selon un mode de réalisation, la membrane secondaire présente une première série d'ondulations parallèles et une deuxième série d'ondulations perpendiculaire à la première série d'ondulations.
- [0043] Selon un mode de réalisation, les ondulations secondaires font saillie sur le côté intérieur de la membrane étanche secondaire
- [0044] La barrière thermiquement isolante secondaire peut être faite de différentes manières. Selon un mode de réalisation, la barrière thermiquement isolante secondaire comporte une pluralité de panneaux isolants juxtaposés, les panneaux isolants portant la membrane étanche secondaire.

- [0045] Selon un mode de réalisation, les panneaux isolants sont autoporteurs, c'est-à-dire que les panneaux isolants tiennent le vide. Selon un mode de réalisation, un panneau isolant comprend un caisson en bois contreplaqué contenant de la matière isolante, par exemple une mousse de polyuréthanes (PU), éventuellement renforcée de fibres.
- [0046] Selon un mode de réalisation, l'installation comporte en outre :
- au moins une ligne d'alimentation reliée à la source de gaz et débouchant dans l'espace secondaire, et
  - au moins une ligne d'évacuation débouchant dans l'espace secondaire. Par exemple, la ligne d'alimentation et/ou la ligne d'évacuation traverse la structure porteuse pour déboucher dans l'espace secondaire. Une pompe à vide peut être reliée à la ligne d'évacuation de manière temporaire pour une phase de purge initiale, par exemple par un raccord flexible, puis déconnectée.
- [0047] Selon un mode de réalisation, l'installation pour le stockage et/ou le transport d'un gaz liquéfié, préférentiellement de l'hydrogène liquéfié comporte en outre un dispositif de mesure apte à mesurer :
- une quantité de la ou chaque espèce chimique principale injectée dans la phase gazeuse secondaire par la au moins une ligne d'alimentation,
  - une quantité de gaz extrait de l'espace secondaire par la au moins une ligne d'évacuation,
  - et apte à émettre une alerte en réponse à la détection de ce qu'un écart entre la quantité de la ou chaque espèce chimique principale injectée et la quantité de gaz extrait dépasse un seuil de quantité positif.
- [0048] Selon des modes de réalisation, la cuve peut présenter une forme générale sphérique, cylindrique, polyédrique ou prismatique.
- [0049] Selon un deuxième objet, l'invention fournit un procédé d'exploitation d'une installation tel que décrit ci-dessus, comportant :
- une étape d'injection dans laquelle la ou chaque espèce chimique principale est injectée en phase gazeuse jusqu'à ce que la phase gazeuse secondaire soit à une pression absolue supérieure à 10 kPa, dans laquelle la pression partielle de la ou chaque espèce chimique principale est inférieure au point triple de ladite espèce chimique principale, et dans laquelle la pression partielle de la ou chaque espèce chimique résiduelle est inférieure à 0,14 kPa.
- [0050] Selon un mode de réalisation, le procédé d'exploitation comporte en outre une étape d'évacuation de la phase gazeuse secondaire durant laquelle une pompe à vide reliée à la ligne d'évacuation est activée. De préférence dans ce cas, la pompe à vide est activée afin de placer l'espace secondaire à une pression absolue inférieure à 10 kPa, de préférence inférieure à 1 kPa, dans l'étape d'évacuation de la phase gazeuse secondaire, l'étape d'injection étant effectuée après l'étape d'évacuation de la phase

- gazeuse secondaire.
- [0051] Selon un mode de réalisation du procédé d'exploitation, la pression absolue de la phase gazeuse secondaire est inférieure à 40 kPa pendant les étapes d'aspiration de la phase gazeuse secondaire et d'injection.
- [0052] Selon un mode de réalisation du procédé d'exploitation, les étapes d'évacuation de la phase gazeuse secondaire et d'injection sont réalisées de manière répétée.
- [0053] Ainsi, les étapes d'évacuation de la phase gazeuse secondaire et d'injection, par exemple de dioxyde de carbone, peuvent être réalisées aussi souvent que nécessaire, par exemple en fonction des mesures fournies par un analyseur de gaz relié à l'espace secondaire.
- [0054] Selon un mode de réalisation du procédé d'exploitation, l'étape d'injection est réalisée de manière à créer une circulation de la phase gazeuse secondaire permettant de renouveler la phase gazeuse secondaire.
- [0055] Un tel procédé d'exploitation peut être effectué dans des conditions de pression et de température d'exploitation de l'installation, c'est-à-dire que la cuve contient le gaz liquéfié et préférentiellement la cuve contient de l'hydrogène liquéfié. Selon un mode de réalisation, le procédé est effectué quand l'hydrogène liquide remplit au moins 10 % du volume de la cuve, par exemple 50 % de ce volume.
- [0056] Une telle installation peut faire partie d'une installation de stockage terrestre ou immergée, ou être installée dans une structure flottante, côtière ou en eau profonde, notamment un navire, une unité flottante de stockage et de regazéification (FSRU), une unité flottante de production et de stockage déporté (FPSO) et autres. Une telle installation peut aussi servir de réservoir de carburant dans tout type de véhicule terrestre ou navire.
- [0057] Selon un mode de réalisation, un navire pour le transport d'un gaz liquide, préférentiellement de l'hydrogène liquide comporte une double coque et une installation précitée disposée dans la double coque.
- [0058] Selon un mode de réalisation, l'invention fournit aussi un système de transfert d'un gaz liquide, préférentiellement de l'hydrogène liquide, le système comportant un tel navire, des canalisations isolées agencées de manière à relier la cuve étanche et thermiquement isolante disposée dans la coque du navire à une installation de stockage flottante ou terrestre et une pompe pour entraîner un flux de gaz liquide, préférentiellement d'hydrogène liquide à travers les canalisations isolées depuis ou vers l'installation de stockage flottante ou terrestre vers ou depuis la cuve étanche et thermiquement isolante disposée dans la coque du navire.
- [0059] Selon un mode de réalisation, l'invention fournit aussi un procédé de chargement ou déchargement d'un tel navire, dans lequel on achemine le gaz liquide, préférentiellement l'hydrogène liquide à travers des canalisations isolées depuis ou vers une

installation de stockage flottante ou terrestre vers ou depuis la cuve étanche et thermiquement isolante disposée dans la coque du navire.

### **Brève description des figures**

- [0060] 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.
- [0061] [Fig.1] La [Fig.1] représente une vue schématique d'une installation selon un mode de réalisation.
- [0062] [Fig.2] La [Fig.2] est une vue en coupe d'une structure multicouche pouvant être utilisée pour réaliser une paroi de cuve dans l'installation de la [Fig.1].
- [0063] [Fig.3] La [Fig.3] est une représentation schématique écorchée d'un navire comportant une cuve de transport de gaz liquéfié et d'un terminal de chargement/déchargement de cette cuve.
- [0064] [Fig.4] La [Fig.4] illustre un diagramme de phase du dioxyde de carbone.
- [0065] [Fig.5] La [Fig.5] illustre une vue schématique d'une installation selon un autre mode de réalisation.
- [0066] [Fig.6] La [Fig.6] représente une vue en coupe d'un autre mode de réalisation d'une installation selon l'invention.

### **Description des modes de réalisation**

- [0067] En référence aux figures 1 et 2, une installation pour le stockage et/ou le transport de gaz liquéfié, préférentiellement de l'hydrogène liquéfié comporte une cuve 1 étanche et thermiquement isolante.
- [0068] La cuve 1 étanche et thermiquement isolante est une cuve à membranes permettant de stocker un gaz liquéfié, par exemple de l'hydrogène liquide. La cuve 1 présente une structure multicouche comportant, depuis l'extérieur vers l'intérieur, une barrière thermiquement isolante secondaire 3, comportant par exemple des éléments isolants 20 représentés sur la [Fig.2], reposant contre une structure porteuse 2, une membrane d'étanchéité secondaire 4 reposant contre la barrière thermiquement isolante seconde 3, une barrière thermiquement isolante primaire 5, reposant contre la membrane d'étanchéité secondaire 4 et une membrane d'étanchéité primaire 6 en contact avec le gaz liquéfié contenu dans la cuve 1. La membrane d'étanchéité primaire 6 définit un espace interne 21 destiné à contenir le gaz liquéfié, préférentiellement destiné à contenir de l'hydrogène liquide.
- [0069] Comme visible sur la [Fig.2], la membrane primaire 6 et la membrane secondaire 4 sont corrugées et présentent respectivement des ondulations primaires 26 et des ondulations secondaires 24 faisant saillies en direction de l'espace interne 21 de la cuve

1.

- [0070] Un espace primaire est défini par l'espace située entre la membrane étanche secondaire 4 et la membrane étanche primaire 6. L'espace primaire comporte la barrière thermiquement isolante primaire 5.
- [0071] La barrière isolante primaire 4 comporte une pluralité de piliers de soutien 25 s'étendant selon une direction de l'épaisseur de la barrière thermiquement isolante primaire 5 afin de maintenir une distance entre la membrane étanche secondaire 4 et la membrane étanche primaire 6. Chaque pilier de soutien 25 comporte une première extrémité plane 27 qui est en contact avec la membrane primaire 6, entre deux ondes primaires 26 et une deuxième extrémité plane 28 qui est en contact avec la membrane secondaire 4, entre deux ondes secondaires 24. La première et la deuxième extrémité plane 27, 28 étant situées en vis-à-vis l'une de l'autre. L'espace primaire est placé sous un vide poussé, par exemple à une pression inférieure à 1 Pa, afin d'accroître l'isolation thermique de la barrière thermiquement isolante primaire 5.
- [0072] La cuve 1 comporte en outre un espace secondaire qui est défini par l'espace situé entre la structure porteuse 2 et la membrane étanche secondaire 4. L'espace secondaire comporte la barrière thermiquement isolante secondaire 3 et une phase gazeuse secondaire qui sera décrite plus bas.
- [0073] La barrière thermiquement isolante secondaire 3 comporte des panneaux isolants autoporteurs 20, par exemple de la mousse polyuréthane renforcée. Par exemple, les panneaux isolants autoporteurs 20 comportent deux plaques rigides en bois contreplaqué prenant en sandwich de la mousse polyuréthane.
- [0074] En service, la phase gazeuse secondaire est composée essentiellement de dioxyde de carbone ou d'autres compositions gazeuses décrites dans les exemples. Pour réaliser et maintenir la phase gazeuse secondaire, un dispositif d'inertage 11 représenté schématiquement sur la [Fig.1] peut être employé. La phase gazeuse secondaire est maintenue par exemple à une pression voisine de la pression atmosphérique.
- [0075] Le dispositif d'inertage 11 comporte une source de dioxyde de carbone 12, par exemple un réservoir sous pression, reliée à une ligne d'alimentation 14 traversant la structure porteuse 2 et débouchant dans l'espace secondaire. Un compresseur 13 peut être prévu pour réaliser une injection forcée de dioxyde de carbone depuis la source de dioxyde de carbone 12 dans l'espace secondaire.
- [0076] Le dispositif d'inertage 11 comporte en outre une ligne d'évacuation 8 traversant la structure porteuse 2 et débouchant dans l'espace secondaire. Optionnellement, une pompe à vide 7 est reliée à la ligne d'évacuation 8. La pompe à vide 7 peut être reliée à un analyseur de gaz 15 configuré pour détecter la composition de la phase gazeuse secondaire. L'analyseur de gaz 15 est ici placé à la sortie de la pompe à vide 7. L'analyseur de gaz 15 peut notamment comporter un spectromètre de masse.

- [0077] De plus, des débitmètres 9 et 16 peuvent être prévus pour mesurer respectivement un débit de gaz sortant de l'espace secondaire par la ligne d'évacuation 8 et un débit de gaz entrant dans l'espace secondaire par la ligne d'alimentation 14.
- [0078] Un capteur de pression 18 est prévu pour mesurer la pression dans l'espace secondaire et un capteur de température 19 est prévu pour mesurer la température dans l'espace secondaire.
- [0079] Une unité de commande 10 peut être utilisée pour piloter les différents actionneurs du dispositif d'inertage 11, à savoir le compresseur 13, la source de dioxyde de carbone 12 et la pompe à vide 7 et recevoir les signaux de mesure des différents capteurs, à savoir l'analyseur de gaz 15, les débitmètres 9 et 16, et les capteurs de pression 18 et de température 19.
- [0080] D'autres aspects du dispositif d'inertage 11 peuvent être réalisés de manière analogue au système de distribution d'azote décrit dans le document WO2015155377A1.
- [0081] Le remplissage de l'espace interne 21 par de l'hydrogène liquide entraîne une diminution de la température de la membrane primaire 6, de l'espace primaire, de la membrane secondaire 4 et enfin de l'espace secondaire. Ainsi, la température de la membrane secondaire 4 est d'environ - 30°C à - 70°C. A cette température le dioxyde de carbone ne se condense pas.
- [0082] Si une fuite d'hydrogène liquide apparaît dans la membrane primaire 6, la température de la membrane secondaire 4 va descendre en dessous de -80 °C au niveau d'un point froid correspondant à la zone où l'hydrogène liquide s'est écoulé. Ainsi, dans l'espace secondaire, au niveau de ce point froid, le dioxyde de carbone va se condenser en phase solide sans passer par la phase liquide et former un glaçon accroché à la membrane secondaire 4, par exemple à l'intérieur des ondulations secondaires 24.
- [0083] Ce phénomène est expliqué en relation avec la [Fig.4] illustrant un diagramme de phase du CO<sub>2</sub>. Le CO<sub>2</sub> en phase gazeuse G est maintenu à une pression P inférieure à son point triple 40. Ainsi, en cas de diminution de la température T au-delà d'un certain seuil, le CO<sub>2</sub> va se condenser en phase solide S sans passer par la phase liquide L.
- [0084] Grâce aux débitmètres 9 et 16, l'unité de commande 10 peut déterminer la quantité de gaz évacué depuis l'espace secondaire via la ligne d'évacuation 8 et la quantité de dioxyde de carbone injectée dans l'espace secondaire via la ligne d'alimentation 14.
- [0085] Pour réaliser la phase gazeuse secondaire, puis la renouveler au cours du temps, des procédés d'inertage intermittents ou continus peuvent être employés, par exemple sous la conduite de l'unité de commande 10.
- [0086] Un premier procédé d'inertage comporte les étapes suivantes : évacuer la phase gazeuse secondaire, qui peut être initialement constituée de l'air

ambiant, via la ligne d'évacuation 8 avec la pompe à vide 7, puis une fois que la phase gazeuse secondaire a été évacuée jusqu'à une pression suffisamment basse, par exemple 1 kPa, arrêter la pompe à vide puis, injecter du dioxyde de carbone par la source de dioxyde de carbone 12 et le cas échéant le compresseur 13 jusqu'à atteindre la pression de service, par exemple égale à la pression atmosphérique.

- [0087] Ce procédé peut être répété plusieurs fois jusqu'à ce que la phase gazeuse secondaire soit composée d'au moins 99,4% de dioxyde de carbone en volume, le reste étant de l'air ambiant résiduel dont la pression partielle, en particulier celle de l'oxygène résiduel, sera tellement faible qu'un risque explosif se trouve diminué. Si des gaz sont libérés au cours du temps par les matières présentes dans la barrière thermiquement isolante secondaire 3, il peut être nécessaire de répéter ce procédé plusieurs fois.
- [0088] Dans un autre procédé d'inertage pouvant être utilisé, la phase gazeuse secondaire est renouvelée par balayage. Le procédé comporte alors les étapes suivantes : injecter du dioxyde de carbone dans l'espace secondaire via la source de dioxyde de carbone 12, et le cas échéant le compresseur 13, afin de créer une circulation de la phase gazeuse secondaire. Le dioxyde de carbone 12 va pousser la phase gazeuse secondaire présente dans l'espace secondaire vers la ligne d'évacuation afin d'évacuer la phase gazeuse vers l'extérieur de l'espace secondaire et afin de remplacer ladite phase gazeuse secondaire. Dans ce procédé, il n'est pas nécessaire qu'une pompe à vide soit reliée à la ligne d'évacuation 8.
- [0089] Ce procédé d'inertage par balayage peut être automatisé et mis en œuvre par un automate qui déclenche automatiquement l'injection de dioxyde de carbone dans l'espace secondaire en fonction d'une mesure de pression prise dans l'espace secondaire. Ainsi, l'espace secondaire peut être alimenté en dioxyde de carbone avec une régulation à +/- 0,5 kPa autour d'une consigne de pression fixée.
- [0090] L'unité de commande 10 peut également remplir des fonctions d'alerte. Par exemple, l'unité de commande 10 émet des alertes dans les cas suivants, constituant des cas probables de fuite d'hydrogène liquide :
- [0091] - le détecteur de pression 18 indique que la pression dans l'espace secondaire est passée sous un seuil de pression. En effet, la condensation du dioxyde de carbone en phase solide va entraîner une diminution de la pression dans l'espace secondaire. À titre d'exemple, dans l'hypothèse où l'espace secondaire est isolé, présente un volume de 68 m<sup>3</sup> de volume libre non cloisonné et présente une composition gazeuse contenant une pression partielle de CO<sub>2</sub> de 100 kPa et une température moyenne de 0°C en condition normale de fonctionnement de la cuve, alors dans le cas d'une formation d'un point froid impliquant la condensation en équilibre de 3 Litres de CO<sub>2</sub> en phase solide, la baisse de pression imputée par ce seul mécanisme est de 2,5 kPa dans

l'espace secondaire. Ainsi, dans cet exemple, si le capteur de pression 18 détecte une diminution de pression de 2,5 kPa, alors l'unité de commande 10 peut générer une alerte.

- [0092] - la quantité de gaz injectée dans l'espace secondaire au cours d'une période de temps a dépassé d'un certain seuil la quantité de gaz évacuée au cours de la même période de temps. En effet, une accumulation de dioxyde de carbone dans l'espace secondaire peut être causée par la présence d'un point froid anormal.
- [0093] On décrit ci-après des exemples de compositions gazeuses préférées pouvant être utilisées pour inerter l'espace secondaire selon des modes de réalisation.
- [0094] [Tableaux1]

Exemple 1	Espèce chimique	volume
	dioxyde de carbone	89%
	diazote	11%
	secondaire	? %

- [0095] Dans l'exemple 1, les espèces chimiques résiduelles peuvent comporter du dioxygène atmosphérique.
- [0096] [Tableaux2]

Exemple 2	Espèce chimique	en volume
	argon	>99 %
	autre	<1 %

- [0097] Dans l'exemple 2, la pression totale est inférieure au point triple de l'argon, qui se situe à 68,7 kPa.
- [0098] [Tableaux3]

Exemple 3	Espèce chimique	en volume
	diazote	>99 %
	autre	<1 %

- [0099] Dans l'exemple 3, la pression totale est inférieure à 13 kPa, qui est le point triple du diazote.
- [0100] Pour les compositions gazeuses des exemples 1 à 3, un dispositif d'inertage comportant une source de gaz peut être employé de manière analogue au mode de réalisation qui est illustré sur la [Fig.1]. La source de gaz doit être adaptée en fonction de la composition gazeuse que l'on souhaite obtenir. Pour l'exemple 1, la source de gaz est une source de dioxyde de carbone, pour l'exemple 2, la source de gaz est une

source d'argon et pour l'exemple 3, la source de gaz est une source de diazote.

[0101] [Tableaux4]

Exemple 4	Espèce chimique	en volume
	dioxyde de carbone	89%
	diazote	11%

[0102] Dans l'exemple 4, la pression totale est inférieure ou égale à la pression atmosphérique.

[0103] [Tableaux5]

Exemple 5	Espèce chimique	en volume
	Argon	59,7%
	dioxyde de carbone	39,8%
	autre	0,5%

[0104] Pour les compositions gazeuses des exemples 4 et 5, un dispositif d'inertage 110 tel qu'illustré sur la [Fig.5] peut être utilisé. Les éléments identiques ou similaires comportent le même chiffre de référence que la [Fig.1]. Le dispositif d'inertage 110 diffère du dispositif d'inertage 11 de la [Fig.1] en ce que la source de gaz 12 est une première source de gaz et que le dispositif d'inertage 110 comporte en outre une deuxième source de gaz 120.

[0105] Pour l'exemple 4, la première source de gaz 12 est une source de dioxyde de carbone et la deuxième source de gaz 120 est une source de diazote.

[0106] Pour l'exemple 5, la première source de gaz 12 est une source d'argon et la deuxième source de gaz 120 est une source de dioxyde de carbone.

[0107] La première espèce principale contenu dans le premier réservoir de la première source de gaz 12 et la deuxième espèce principale contenu dans le deuxième réservoir de la deuxième source de gaz 120 peuvent être injectées dans l'espace secondaire via une ou plusieurs lignes d'alimentation. En outre, une ou plusieurs valves peuvent être placées sur la ligne d'alimentation 14, par exemple au niveau de la sortie de gaz de la première source de gaz 12 et/ou de la deuxième source de gaz 120. Le débit ou la quantité de gaz injecté par la première source de gaz 12 ou la deuxième source de gaz 120 peut être contrôlé via l'unité de commande 10, qui commande par exemple les valves situées au niveau de la sortie de gaz de la première source de gaz 12 ou de la deuxième source de gaz 120.

[0108] En référence à la [Fig.3], une vue écorchée d'un navire 70 montre une installation comprenant une cuve étanche et thermiquement isolante 71 de forme générale

prismatique montée dans la double coque 72 du navire. La paroi de la cuve 71 comporte une membrane d'étanchéité primaire étant en contact avec l'hydrogène liquide contenu dans la cuve, une membrane d'étanchéité secondaire agencée entre la membrane d'étanchéité primaire et la double coque 72 du navire, et deux barrières thermiquement isolantes agencées respectivement entre la membrane d'étanchéité primaire et la membrane d'étanchéité secondaire et entre la membrane d'étanchéité secondaire et la double coque 72.

- [0109] 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 d'hydrogène depuis ou vers la cuve 71.
- [0110] La [Fig.3] 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 offshore 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 navire. 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 navire 70 depuis ou vers l'installation à terre 77. Celle-ci comporte des cuves de stockage d'hydrogène liquide 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 de l'hydrogène liquide 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 70 à grande distance de la côte pendant les opérations de chargement et de déchargement.
- [0111] Pour engendrer la pression nécessaire au transfert de l'hydrogène liquide, 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.
- [0112] De manière analogue, l'invention porte aussi sur une installation pour le transfert d'un gaz liquéfié, préférentiellement de l'hydrogène liquéfié. Une telle installation peut être vue comme une conduite de transfert de gaz liquéfié et est aussi connue sous le terme anglo-saxon « Pipe in Pipe ». La [Fig.6] représente une vue en coupe d'une telle installation (le dispositif d'inertage n'y est pas représenté). Ladite installation comporte un contenant sous la forme d'une conduite de transfert 201, la conduite de transfert 201 comprend, en allant de l'intérieur de l'installation vers l'extérieur de l'installation :

- une canalisation étanche primaire 202, la canalisation étanche primaire 202 étant destinée à être en contact avec le gaz liquéfié, préférentiellement l'hydrogène liquéfié, contenu dans l'espace intérieur de la canalisation étanche primaire 202 pour en assurer son transfert,
- une paroi étanche secondaire 204 située à distance d'un côté extérieur de la canalisation étanche primaire 202 et définissant un espace primaire entre la canalisation étanche primaire 202 et la membrane étanche secondaire 204,
- une barrière thermiquement isolante primaire 203 disposée dans l'espace primaire,
- une paroi étanche externe 206 située à distance de la paroi étanche secondaire 204, et définissant un espace secondaire entre la paroi étanche externe 206 et la paroi étanche secondaire 204,
- une barrière thermiquement isolante secondaire 205 et une phase gazeuse seconde, disposées dans l'espace secondaire (défini entre la paroi étanche seconde 204 et la paroi étanche externe 206), la paroi externe 206 étant portée par la barrière thermiquement isolante secondaire 205,  
ladite installation comportant un dispositif d'inertage 11, 110 relié, au moins temporairement, à l'espace secondaire pour maintenir et/ou mettre la phase gazeuse secondaire sous la forme d'une composition gazeuse constituée d'une ou plusieurs espèces chimiques principales, et éventuellement d'une ou plusieurs espèces chimiques résiduelles,  
le dispositif d'inertage étant configuré pour maintenir la phase gazeuse seconde à une pression absolue supérieure à 10 kPa, dans laquelle la pression partielle de la ou chaque espèce chimique principale est inférieure au point triple de ladite espèce chimique principale,  
et dans laquelle la pression partielle de la ou chaque espèce chimique résiduelle est inférieure à 0,14 kPa.

[0113] La conduite de transfert 201 s'étend sur une longueur L et est ouverte à ses extrémités pour le transfert du gaz liquéfié le long de la conduite de transfert 201, à l'intérieur de la canalisation 202. La canalisation 202 est destinée à faire transiter le gaz liquéfié depuis une extrémité de la conduite de transfert 201 vers une autre extrémité de la conduite de transfert 201.

[0114] Le même principe de l'invention en lien avec l'inertage décrit en détail dans un mode de réalisation avec une cuve s'applique à une conduite de type « Pipe in Pipe ». L'inertage est avantageusement réalisé de manière temporaire pour placer la phase gazeuse secondaire au bon niveau de pression.

[0115] Avantageusement, l'espace secondaire est en surpression par rapport à la pression atmosphérique. Ce mode de réalisation est rendu possible du fait que les parois de

l'installation « Pipe in pipe » présentent une certaine rigidité permettant ce maintien de la surpression.

- [0116] 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.
- [0117] 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.
- [0118] Dans les revendications, tout signe de référence entre parenthèses ne saurait être interprété comme une limitation de la revendication.

## Revendications

[Revendication 1]

Installation pour le stockage et/ou le transport et/ou transfert d'un gaz liquéfié, préférentiellement de l'hydrogène liquéfié, ladite installation comportant un contenant étanche et thermiquement isolant (1, 201), le contenant étanche et thermiquement isolant comprenant :

- une paroi externe (2 ; 206) étanche,
- une membrane étanche secondaire (4 ; 204) située à distance d'un côté intérieur de la paroi externe (2 ; 206) et définissant un espace secondaire entre la paroi externe (2 ; 206) et la membrane étanche secondaire (4 ; 204),
- une barrière thermiquement isolante secondaire (3 ; 205) et une phase gazeuse secondaire disposées dans l'espace secondaire, l'espace secondaire étant délimité par la paroi externe (2 ; 206), la membrane étanche secondaire (4 ; 204) étant portée par la barrière thermiquement isolante secondaire (3 ; 205),
- une membrane étanche primaire (6 ; 202) située à distance d'un côté intérieur de la membrane étanche secondaire (4 ; 204) et définissant un espace primaire entre la membrane étanche secondaire (4 ; 204) et la membrane étanche primaire, la membrane étanche primaire étant destinée à être en contact avec le gaz liquéfié, préférentiellement l'hydrogène liquéfié contenu dans le contenant étanche et thermiquement isolant,
- une barrière thermiquement isolante primaire (5 ; 203) disposée dans l'espace primaire, la membrane étanche primaire (6 ; 202) étant portée par la barrière thermiquement isolante primaire (5 ; 203),
- ladite installation comportant un dispositif d'inertage (11, 110) relié à l'espace secondaire pour maintenir la phase gazeuse secondaire sous la forme d'une composition gazeuse constituée d'une ou plusieurs espèces chimiques principales, et éventuellement d'une ou plusieurs espèces chimiques résiduelles,
- le dispositif d'inertage étant configuré pour maintenir la phase gazeuse secondaire à une pression absolue supérieure à 10 kPa, dans laquelle la pression partielle de la ou chaque espèce chimique principale est inférieure au point triple de ladite espèce chimique principale,
- et dans laquelle la pression partielle de la ou chaque espèce chimique résiduelle est inférieure à 0,14 kPa,
- dans laquelle le dispositif d'inertage inclut au moins une source de gaz

- (12), la source de gaz comportant un réservoir de gaz rempli d'une dite espèce principale ou un générateur de gaz apte à générer une dite espèce principale,
- l'installation comportant en outre :
- au moins une ligne d'alimentation (14) reliée à la source de gaz (12, 120) et débouchant dans l'espace secondaire, et
- au moins une ligne d'évacuation (8) débouchant dans l'espace secondaire, et
- un dispositif de mesure (9, 16, 10) apte à mesurer :
- une quantité de la ou chaque espèce chimique principale injectée dans la phase gazeuse secondaire par la au moins une ligne d'alimentation,
- une quantité de gaz extrait de l'espace secondaire par la au moins une ligne d'évacuation,
- et apte à émettre une alerte en réponse à la détection de ce qu'un écart entre la quantité de la ou chaque espèce chimique principale injectée et la quantité de gaz extrait dépasse un seuil de quantité positif.
- [Revendication 2] Installation selon la revendication 1, dans laquelle le contenant étanche et thermiquement isolant est une cuve étanche et thermiquement isolante, la paroi externe étant une structure porteuse (2) et la barrière thermiquement isolante secondaire (3) étant ancrée à la structure porteuse (2).
- [Revendication 3] Installation selon la revendication 1 ou 2, dans laquelle ladite composition gazeuse comporte au moins une espèce chimique principale sélectionnée dans le groupe constitué de : diazote, dioxyde de carbone et argon.
- [Revendication 4] Installation selon la revendication 3, dans laquelle ladite ou chaque espèce chimique principale est sélectionnée dans le groupe constitué de : diazote, dioxyde de carbone et argon.
- [Revendication 5] Installation selon l'une des revendications 1 à 4, dans laquelle ladite espèce chimique principale comporte le dioxyde de carbone, le dioxyde de carbone constituant au moins 33 % en volume de la phase gazeuse secondaire, préférentiellement au moins 89 % en volume de la phase gazeuse secondaire, de manière encore plus préférée au moins 99.4 % en volume de la phase gazeuse secondaire.
- [Revendication 6] Installation selon l'une des revendications 1 à 5, dans laquelle ladite espèce chimique principale comporte l'argon, la pression partielle de l'argon étant inférieure à son point triple, soit 68,7 kPa.
- [Revendication 7] Installation selon la revendication 6, dans laquelle l'argon constitue au

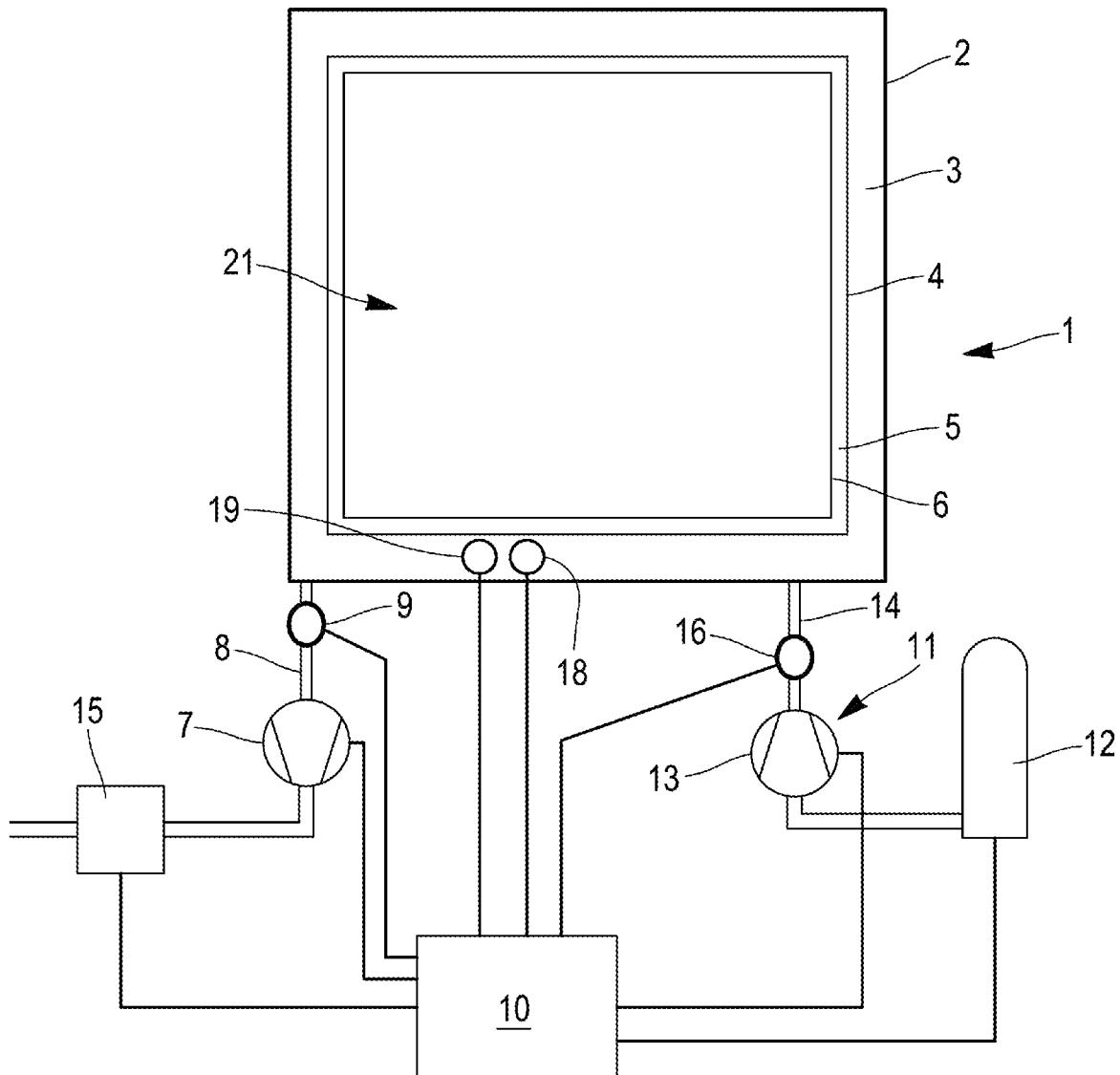
- [Revendication 8] moins 50% en volume de la phase gazeuse secondaire, préférentiellement au moins 99 % en volume de la phase gazeuse secondaire. Installation selon l'une des revendications 1 à 7, dans laquelle ladite espèce chimique principale comporte le diazote, la pression partielle du diazote étant inférieure à son point triple, soit 12,5 kPa.
- [Revendication 9] Installation selon l'une des revendications 1 à 8, dans laquelle l'espace primaire contient une phase gazeuse primaire présentant une pression inférieure à la pression de la phase gazeuse secondaire.
- [Revendication 10] Installation selon l'une des revendications 1 à 9, dans laquelle l'espace primaire contient une phase gazeuse primaire présentant une pression absolue inférieure à 1 Pa.
- [Revendication 11] Installation selon l'une des revendications 1 à 10, comportant en outre un capteur de pression (18) apte à détecter une pression dans l'espace secondaire et un dispositif d'alerte (10), le dispositif d'alerte étant apte à générer une alerte en réponse à une détection par le capteur de pression de ce que la pression de la phase gazeuse secondaire est inférieure à un seuil de pression.
- [Revendication 12] Installation selon l'une des revendications 1 à 11, dans laquelle la barrière thermiquement isolante primaire (5) comporte une pluralité de piliers de soutien (25) s'étendant selon une direction de l'épaisseur de la barrière thermiquement isolante primaire (5) afin de maintenir une distance entre la membrane étanche secondaire (4) et la membrane étanche primaire (6).
- [Revendication 13] Installation selon l'une des revendications 1 à 12, dans laquelle la membrane étanche secondaire (4) présente une pluralité d'ondulations secondaires (24) et des portions planes situées entre les ondulations secondaires, les portions planes reposant sur la barrière thermiquement isolante secondaire (3), dans laquelle les ondulations secondaires font saillie sur le côté intérieur de la membrane étanche secondaire (4).
- [Revendication 14] Installation selon la revendication 1, dans laquelle le dispositif d'inertage inclut une première source de gaz (12), la première source de gaz (12) comportant un réservoir de gaz rempli d'une première dite espèce principale ou un générateur de gaz apte à générer une première dite espèce principale, et une deuxième source de gaz (120), la deuxième source de gaz (120) comportant un réservoir de gaz rempli d'une deuxième dite espèce principale ou un générateur de gaz apte à générer une deuxième dite espèce principale.
- [Revendication 15] Procédé d'exploitation d'une installation selon la revendication 1,

- comportant :
- une étape d'injection dans laquelle la ou chaque espèce chimique principale est injectée en phase gazeuse jusqu'à ce que la phase gazeuse secondaire soit à une pression absolue supérieure à 10 kPa, dans laquelle la pression partielle de la ou chaque espèce chimique principale est inférieure au point triple de ladite espèce chimique principale, et dans laquelle la pression partielle de la ou chaque espèce chimique résiduelle est inférieure à 0,14 kPa.
- [Revendication 16] Procédé d'exploitation selon la revendication 15, comportant en outre une étape d'évacuation de la phase gazeuse secondaire durant laquelle une pompe à vide (7) est reliée à la ligne d'évacuation (8) et activé, dans lequel la pompe à vide (7) est activée afin de placer l'espace secondaire à une pression absolue inférieure à 10 kPa, de préférence inférieure à 1 kPa, dans l'étape d'évacuation de la phase gazeuse secondaire, l'étape d'injection étant effectuée après l'étape d'évacuation de la phase gazeuse secondaire.
- [Revendication 17] Procédé d'exploitation selon la revendication 16, dans lequel les étapes d'évacuation de la phase gazeuse secondaire et d'injection sont réalisées de manière répétée.
- [Revendication 18] Procédé d'exploitation selon la revendication 15, dans lequel l'étape d'injection est réalisée de manière à créer une circulation de la phase gazeuse secondaire permettant de renouveler la phase gazeuse secondaire.
- [Revendication 19] Procédé d'exploitation selon la revendication 16, dans lequel la pression absolue de la phase gazeuse secondaire est inférieure à 40 kPa pendant les étapes d'aspiration de la phase gazeuse secondaire et d'injection.
- [Revendication 20] Navire (70) pour le transport d'un gaz liquide, préférentiellement de l'hydrogène, le navire comportant une double coque (72) et une installation selon l'une des revendications 1 à 14 disposée dans la double coque, et dans laquelle le contenant étanche et thermiquement isolant est une cuve étanche et thermiquement isolante, la paroi externe étant une structure porteuse (2) et la barrière thermiquement isolante secondaire (3) étant ancrée à la structure porteuse (2).
- [Revendication 21] Système de transfert d'un gaz liquéfié, préférentiellement de l'hydrogène liquide, le système comportant un navire (70) selon la revendication 20, des canalisations isolées (73, 79, 76, 81) agencées de manière à relier la cuve étanche et thermiquement isolante (71) disposée dans la coque du navire à une installation de stockage flottante ou

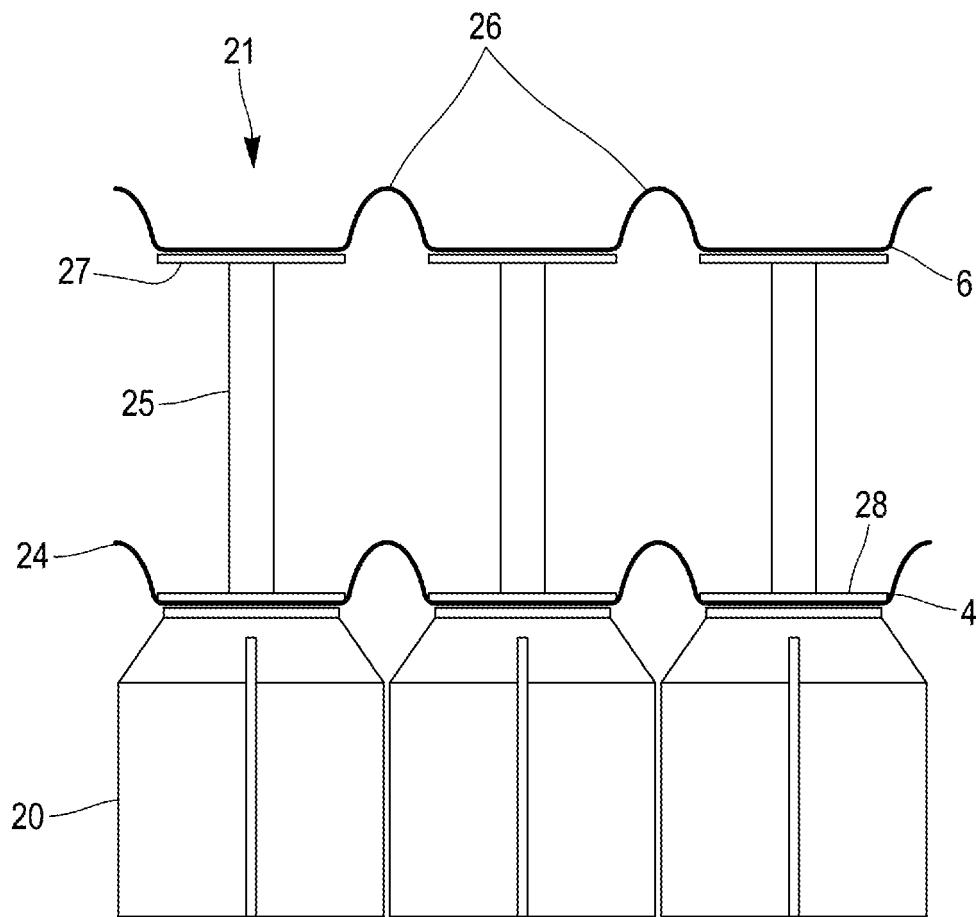
terrestre (77) et une pompe pour entraîner un flux d'un gaz liquéfié, préférentiellement de l'hydrogène liquide, à travers les canalisations isolées depuis ou vers l'installation de stockage flottante ou terrestre vers ou depuis la cuve étanche et thermiquement isolante disposée dans la coque du navire.

- [Revendication 22] Procédé de chargement ou déchargement d'un navire (70) selon la revendication 20, dans lequel on achemine un gaz liquéfié, préférentiellement de l'hydrogène liquide, 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 étanche et thermiquement isolante (71) disposée dans la coque du navire.

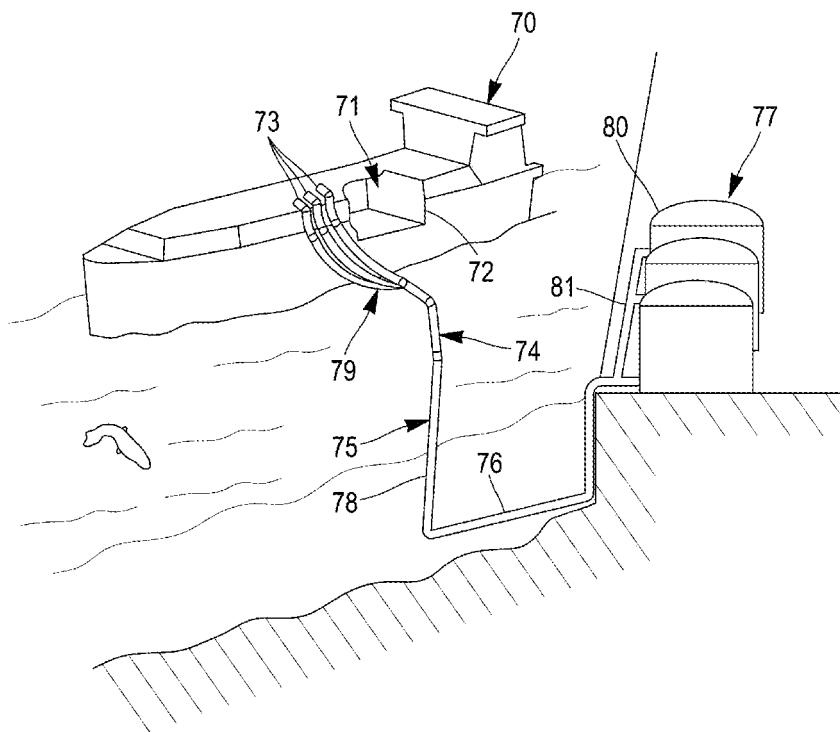
[Fig. 1]



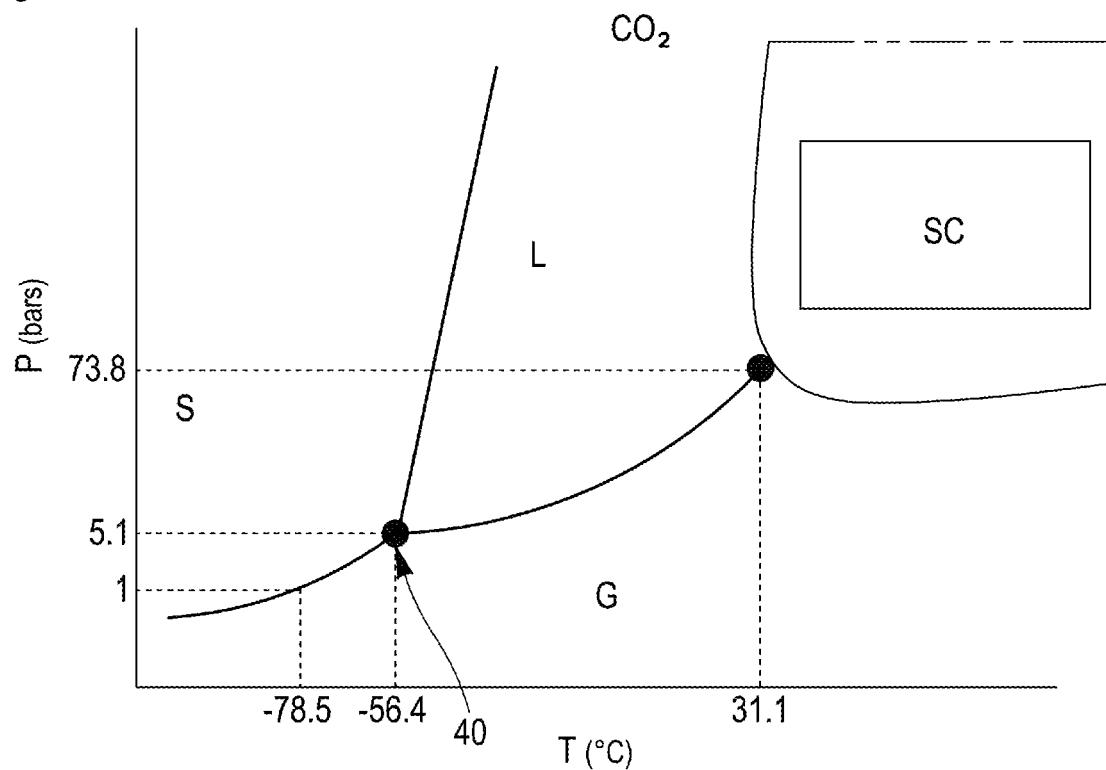
[Fig. 2]



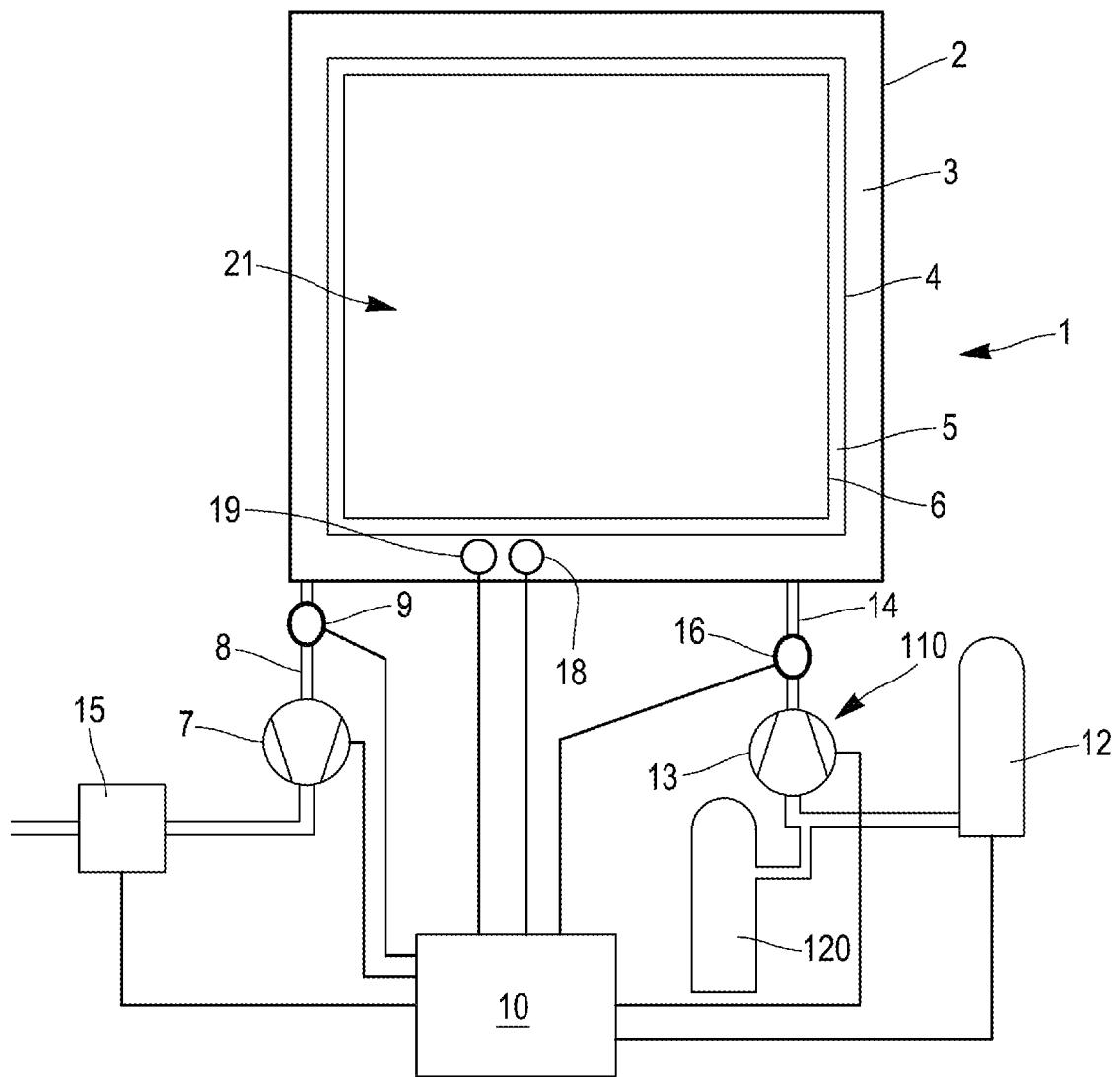
[Fig. 3]



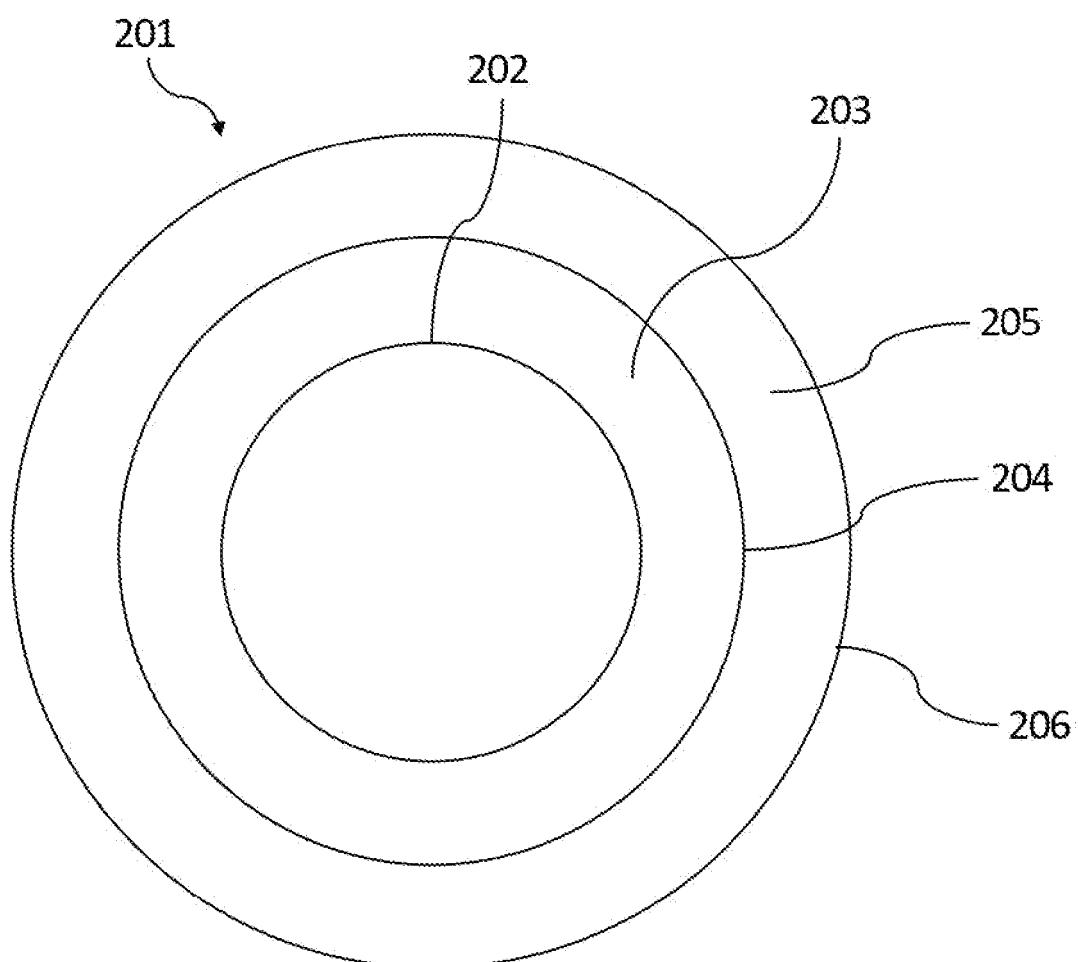
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



# RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

## OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveauté) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

## CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

## DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN  
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

WO 2015/078972 A1 (GAZTRANSP ET TECHNIGAZ  
[FR]) 4 juin 2015 (2015-06-04)

FR 2 502 289 A1 (APPLIED THERMODYNAMICS  
LONOG S [FR]; APPLIED THERMODYNAMICS LONOG  
SER) 24 septembre 1982 (1982-09-24)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIÈRE-PLAN  
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

WO 2015/132307 A1 (GAZTRANSP ET TECHNIGAZ  
[FR]) 11 septembre 2015 (2015-09-11)

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND  
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT