

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①① N° de publication : **3 099 558**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national : **20 11771**

⑤① Int Cl⁸ : **F 25 J 1/02 (2020.12)**

①②

CERTIFICAT D'UTILITÉ

B3

⑤④ Installation de réfrigération d'hydrogène.

②② Date de dépôt : 17.11.20.

③① Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 05.02.21 Bulletin 21/05.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
certificat d'utilité : 09.07.21 Bulletin 21/27.

⑤⑥ Les certificats d'utilité ne font pas l'objet d'un
rapport de recherche.

⑥① Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *L'AIR LIQUIDE, SOCIETE
ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION
DES PROCEDES GEORGES CLAUDE SOCIETE
ANONYME — FR.*

⑦② Inventeur(s) : LE BOT Patrick et PEYRON Jean-
Marc.

⑦③ Titulaire(s) : *L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME
POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES
PROCEDES GEORGES CLAUDE SOCIETE
ANONYME.*

⑦④ Mandataire(s) : *L'AIR LIQUIDE, SOCIETE
ANONYME.*

FR 3 099 558 - B3



Description

Titre de l'invention : Installation de réfrigération d'hydrogène

- [0001] L'invention concerne une installation de réfrigération d'hydrogène
- [0002] L'invention concerne plus particulièrement une installation de réfrigération d'hydrogène à température cryogénique, et notamment pour la liquéfaction d'hydrogène, comprenant un circuit d'hydrogène à refroidir comprenant une extrémité amont destinée à être reliée à une source d'hydrogène et une extrémité aval reliée à un organe de collecte de l'hydrogène refroidi et/ou liquéfié, l'installation de refroidissement comprenant un ensemble d'échangeur(s) de chaleur en échange thermique avec le circuit d'hydrogène à refroidir, l'installation comprenant un dispositif de refroidissement en échange thermique avec l'ensemble d'échangeur(s) de chaleur, ledit dispositif de refroidissement comprenant un réfrigérateur à cycle de réfrigération d'un gaz de cycle un tel que l'hydrogène, au moins une partie du circuit d'hydrogène, de l'ensemble d'échangeur(s) et du dispositif de refroidissement étant logés dans une boîte froide isolée sous vide, l'installation comprenant, dans la boîte froide, au moins un éjecteur.
- [0003] Le déploiement du marché de l'hydrogène carburant pour la mobilité va faire générer de grandes capacités de liquéfaction d'hydrogène, pour une logistique sous forme liquide du produit. L'hydrogène liquide à très basses température génère, dans les phases de stockage et de chargement des camions, des gaz de vaporisation (« Boil-Off gas ») qu'il convient de recycler pour recouvrer aussi bien la molécule d'hydrogène que les frigories contenues dans ces gaz froids. Pour cela, un moyen connu est d'envoyer dans la capacité recevant le liquide produit par le liquéfacteur (stockage ou semi-remorque) un liquide sous refroidi.
- [0004] Des moyens sont connus pour sous-refroidir le liquide. Par exemple, via un cycle de production frigorifique qui permet de produire du froid à un niveau de température inférieur à la température de saturation de l'hydrogène à sa pression de stockage. Ces cycles utilisent comme fluide de travail un mélange contenant des composants à plus basse température normale d'ébullition (typiquement de l'hélium). Si le rendement énergétique de ces cycles indépendants est généralement bon, le coût associé est élevé. Une autre solution prévoit un refroidissement du liquide produit à une température d'équilibre à la pression de production par échange de chaleur indirect avec une fraction dudit liquide qui se vaporise à une pression plus basse que la pression de production. La pression étant abaissée, la température de changement de phase est plus basse que la température de saturation à la pression de production. Ceci permet le sous refroidissement. Les vapeurs basse pression générées sont ensuite recomprimées après réchauffement jusqu'à température ambiante pour être recyclées dans le cycle fri-

gorifique. Dans le cas de la liquéfaction d'hydrogène, et pour un stockage à basse pression (proche de l'atmosphère), cette solution n'est pas envisagée car la recompression à une pression inférieure à la pression atmosphérique présente des risques d'aspiration d'air (donc d'oxygène) dans le gaz de cycle.

[0005] Un but de la présente invention est de pallier tout ou partie des inconvénients de l'art antérieur relevés ci-dessus.

[0006] A cette fin, l'installation selon l'invention, par ailleurs conforme à la définition générique qu'en donne le préambule ci-dessus, est essentiellement caractérisée en ce que l'entrée d'aspiration de l'éjecteur est reliée à la phase gazeuse d'une capacité de fluide et l'entrée d'admission du fluide moteur de l'éjecteur est reliée à au moins l'un parmi : le gaz de cycle pressurisé du réfrigérateur, de l'hydrogène du circuit d'hydrogène refroidi dans l'ensemble d'échangeur(s) de chaleur.

[0007] La solution proposée permet de sous refroidir l'hydrogène liquide produit sans cycle additionnel ni risque d'aspirer les vapeurs basse pression à une pression sub-ambiante.

[0008] Par ailleurs, des modes de réalisation de l'invention peuvent comporter l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- [0009] – l'éjecteur est configuré pour maintenir dans la capacité une pression déterminée, le fluide moteur étant de composition identique au fluide contenu dans la capacité,
- la pression dans la boîte froide est inférieure 72 mbar et la pression dans la capacité est comprise entre la pression du fluide moteur et la pression régnant à l'intérieur de la boîte froide,
- la pression du fluide en sortie d'éjecteur est supérieure à 1 bars absolu, préférentiellement supérieur à 1,2 bar absolu, de sorte que la pression d'hydrogène en sortie au bout chaud de l'échangeur de chaleur est supérieure à la pression atmosphérique, pour éviter ainsi tout risque d'entrée d'air dans le circuit hydrogène.

[0010] L'invention peut concerner également tout dispositif ou procédé de refroidissement comprenant toute combinaison des caractéristiques ci-dessus ou ci-dessous dans le cadre des revendications.

[0011] D'autres particularités et avantages apparaîtront à la lecture de la description ci-après, faite en référence aux figures dans lesquelles :

[0012] [fig.1] représente une vue schématique et partielle illustrant un premier exemple de structure et de fonctionnement d'une installation de réfrigération/liquéfaction d'hydrogène selon l'invention,

[0013] [fig.2] représente une vue schématique et partielle illustrant un deuxième exemple de structure et de fonctionnement d'une installation de réfrigération/liquéfaction d'hydrogène selon l'invention.

- [0014] L'installation 1 de réfrigération d'hydrogène à température cryogénique, et notamment pour la liquéfaction d'hydrogène, comprend un circuit 2 d'hydrogène à refroidir comprenant une extrémité amont destinée à être reliée à une source d'hydrogène et une extrémité aval reliée à un organe de collecte de l'hydrogène refroidi.
- [0015] L'installation 1 de refroidissement comprend un ensemble d'échangeur(s) 3, 4 de chaleur en échange thermique avec le circuit 2 d'hydrogène à refroidir. L'installation 1 comprend un dispositif de refroidissement en échange thermique avec l'ensemble d'échangeur(s) 3, 4 de chaleur, ledit dispositif de refroidissement comprenant un réfrigérateur 5 à cycle de réfrigération d'un gaz de cycle un tel que l'hydrogène (et/ou tout autre gaz approprié, par exemple l'hélium).
- [0016] Au moins une partie du circuit 2 d'hydrogène, de l'ensemble d'échangeur(s) 3, 4 et du dispositif de refroidissement (sa partie froide) sont logés dans une boîte 6 froide isolée sous vide. En effet, compte tenu des niveaux de température mis en œuvre (par exemple de l'ordre de 20K) les échangeurs 3, 4 de chaleurs de liquéfaction et de sous refroidissement de l'hydrogène liquide sont installés dans une enceinte closes et sous vide (c'est-à-dire à très basse pression).
- [0017] L'installation 1 comprend, dans la boîte 6 froide, au moins un éjecteur 9 dont l'entrée d'aspiration est reliée à la phase gazeuse d'une capacité de fluide et dont l'entrée d'admission du fluide moteur est reliée à au moins l'un parmi : le gaz de cycle pressurisé du réfrigérateur 5, de l'hydrogène du circuit 2 d'hydrogène refroidi dans l'ensemble d'échangeur(s) 3, 4 de chaleur.
- [0018] Dans le mode de réalisation de la [fig.1], le gaz moteur de l'éjecteur 9 est du gaz de cycle du réfrigérateur en aval d'une turbine de détente (par exemple au niveau du circuit à la pression moyenne, par exemple 6bar). Le gaz aspiré par l'éjecteur 9 est prélevé de la partie supérieure d'une capacité 7 liquide. La capacité 7 est par exemple alimentée en gaz de cycle et fait partie d'un système de thermosiphon en échange de chaleur avec un échangeur 4 de chaleur.
- [0019] L'hydrogène liquide produit est envoyé dans une capacité de stockage ou de transport dans lequel le ciel gazeux est à une pression de stockage déterminée.
- [0020] Avant envoi au stockage, l'hydrogène liquide peut ainsi être sous refroidi par échange de chaleur avec de l'hydrogène liquide contenu dans la capacité 7 et se vaporisant en thermosiphon à une pression inférieure à la pression de stockage.
- [0021] L'éjecteur 9 utilisant un fluide moteur issu du cycle frigorifique de production d'hydrogène liquide, ceci permet d'abaisser la pression de capacité 7 à une pression, inférieure à la pression de stockage.
- [0022] L'introduction d'un éjecteur 9 sur le circuit moyenne pression permet d'abaisser la pression du liquide se vaporisant pour assurer le point froid, et donc ceci abaisse la

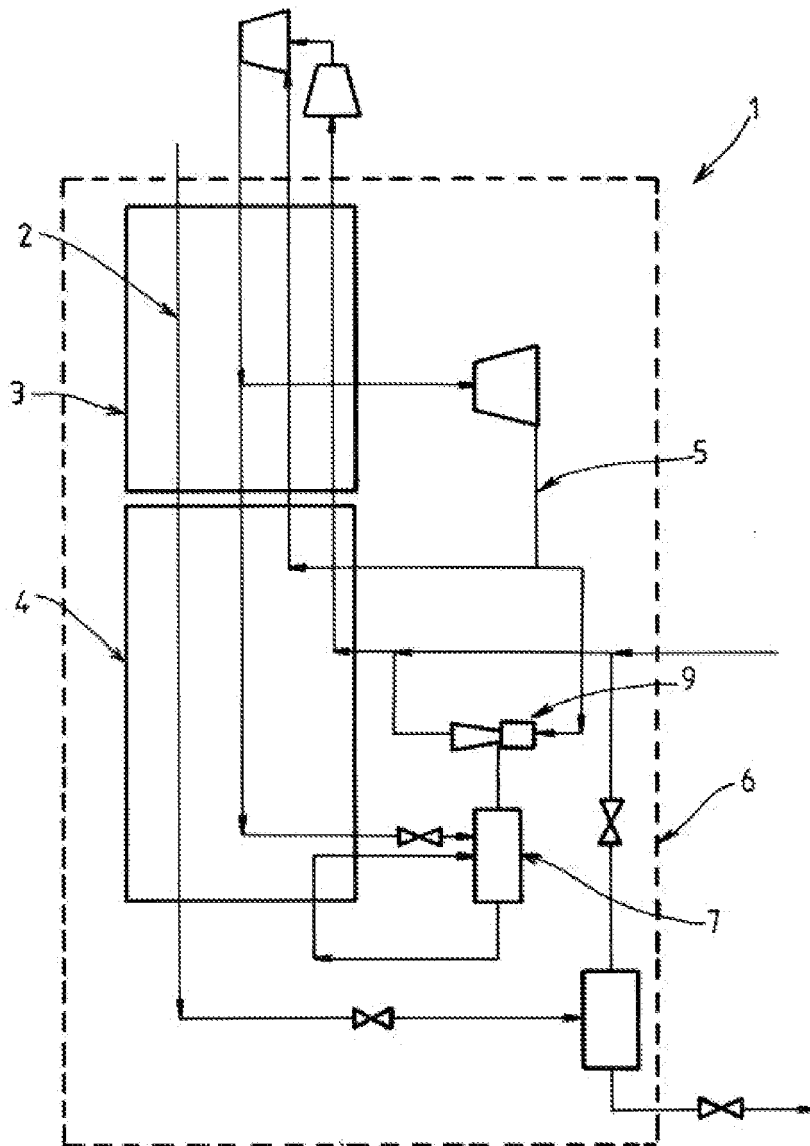
température de production du liquide.

- [0023] La pression du fluide en sortie d'éjecteur 9 (résultant du fluide moteur et fluide aspiré) peut être supérieure à la pression atmosphérique.
- [0024] La pression de l'hydrogène liquide se vaporisant est comprise entre 0,3 ou 0,4 et 1.5 bars absolus.
- [0025] La pression d'aspiration du compresseur de recycle à basse pression n'a pas varié et le risque d'aspiration d'air lié à une pression sub-ambiante est éliminé.
- [0026] La force motrice dans l'éjecteur 9 peut donc être assurée par l'hydrogène de cycle froid du réfrigérateur. La densité de ce gaz moteur est équivalente à la densité de l'air ambiant à 6 bar, qui est suffisant pour l'opération d'un éjecteur classique.
- [0027] L'éjecteur 9 étant placé dans la boîte 6 froide sous vide, le risque d'aspiration d'espèce réactive avec l'hydrogène est nul, d'autant que la pression régnant à l'extérieur de la capacité 7 d'hydrogène liquide basse pression est supérieure à celle de la pression qui règne dans l'enceinte 6 isolante.
- [0028] L'éjecteur 9 permet de maintenir une pression déterminée dans une capacité 7 en utilisant un fluide moteur de composition identique au fluide contenu dans la capacité 7 à pression réduite. L'éjecteur 9 et la capacité 7 sont à l'intérieur de l'enceinte 6 isolante sous vide dans laquelle il règne une pression de préférence inférieure à 72 mbar.
- [0029] De préférence, la pression dans la capacité 7 est comprise entre la pression du fluide moteur et la pression régnant à l'intérieur de l'enceinte 6 sous vide
- [0030] Dans le mode de réalisation de la [fig.2], le gaz moteur est le fluide refroidi du circuit 2 d'hydrogène. C'est-à-dire qu'il est possible d'utiliser la détente finale du produit liquéfié (ou pseudo liquéfié car on est au-dessus de la pression critique) comme fluide moteur de l'éjecteur 9.

Revendications

- [Revendication 1] Installation de réfrigération d'hydrogène à température cryogénique, et notamment pour la liquéfaction d'hydrogène, comprenant un circuit (2) d'hydrogène à refroidir comprenant une extrémité amont destinée à être reliée à une source d'hydrogène et une extrémité aval reliée à un organe de collecte de l'hydrogène refroidi et/ou liquéfié, l'installation (1) de refroidissement comprenant un ensemble d'échangeur(s) (3, 4) de chaleur en échange thermique avec le circuit (2) d'hydrogène à refroidir, l'installation (1) comprenant un dispositif de refroidissement en échange thermique avec l'ensemble d'échangeur(s) (3, 4) de chaleur, ledit dispositif de refroidissement comprenant un réfrigérateur (5) à cycle de réfrigération d'un gaz de cycle un tel que l'hydrogène, au moins une partie du circuit (2) d'hydrogène, de l'ensemble d'échangeur(s) (3, 4) et du dispositif de refroidissement étant logés dans une boîte (6) froide isolée sous vide, l'installation (1) comprenant, dans la boîte (6) froide, au moins un éjecteur (9) dont l'entrée d'aspiration est reliée à la phase gazeuse d'une capacité (7, 8) de fluide et dont l'entrée d'admission du fluide moteur est reliée à au moins l'un parmi : le gaz de cycle pressurisé du réfrigérateur (5), de l'hydrogène du circuit (2) d'hydrogène refroidi dans l'ensemble d'échangeur(s) (3, 4) de chaleur.
- [Revendication 2] Installation selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'éjecteur (9) est configuré pour maintenir dans la capacité (7, 8) une pression déterminée inférieure à la pression régnant dans la phase gazeuse de l'organe de collecte d'hydrogène refroidi et/ou liquéfié et en ce que le fluide moteur est de même nature que le fluide contenu dans la capacité (7).
- [Revendication 3] Installation selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la pression dans la boîte (6) froide est inférieure 72 mbar et en ce que la pression dans la capacité (7, 8) est comprise entre la pression du fluide moteur et la pression régnant à l'intérieur de la boîte (6) froide.
- [Revendication 4] Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que la pression du fluide en sortie d'éjecteur est supérieure à 1 bars absolu, préférablement supérieur à 1,2 bar absolu, de sorte que la pression d'hydrogène en sortie au bout chaud de l'échangeur de chaleur est supérieure à la pression atmosphérique, pour éviter ainsi tout risque d'entrée d'air dans le circuit hydrogène.

[Fig. 1]



[Fig. 2]

