

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
16 avril 2020 (16.04.2020)



(10) Numéro de publication internationale
WO 2020/074801 A1

(51) Classification internationale des brevets :
F17C 5/02 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2019/052232

(22) Date de dépôt international :
24 septembre 2019 (24.09.2019)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1859328 09 octobre 2018 (09.10.2018) FR

(71) Déposant : L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME
POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PRO-
CEDES GEORGES CLAUDE [FR/FR] ; 75, Quai
d'Orsay, 75007 Paris (FR).

(72) Inventeurs : ALLIDIERES, Laurent ; c/o L'air Liquide S.
A., 75 Quai d'Orsay, 75007 Paris (FR). DE SOUZA SIL-
VA, Renan Luis ; c/o L'air Liquide S. A., 75 Quai d'Orsay,
75007 Paris (FR).

(74) Mandataire : DE CUENCA, Emmanuel ; L'air Liquide S.
A., Direction de la Propriété Intellectuelle, 75 Quai d'Orsay,
75321 Paris Cedex 07 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA,
CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ,
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,
HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR,
KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,
MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM,
PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,

(54) Title: METHOD AND FACILITY FOR STORING AND DISTRIBUTING LIQUEFIED HYDROGEN

(54) Titre : PROCÉDÉ ET INSTALLATION DE STOCKAGE ET DE DISTRIBUTION D'HYDROGÈNE LIQUÉFIÉ

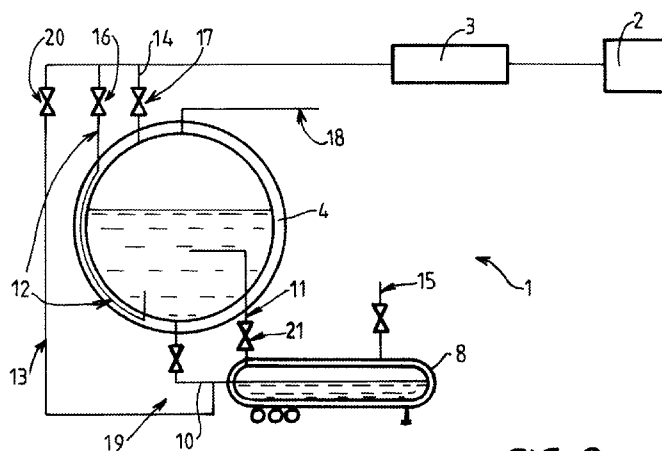


FIG. 2

(57) Abstract: The invention relates to a method for storing and distributing liquefied hydrogen using a facility (1) that comprises a store (4) of liquid hydrogen at a predetermined storage pressure, a source (2) of hydrogen gas, a liquefier (3) comprising an inlet connected to the source (2) and an outlet connected to the liquid hydrogen store (4), the store (4) comprising a pipe (10) for drawing liquid, comprising one end connected to the liquid hydrogen store (4) and one end intended for being connected to at least one mobile tank (8), the method comprising a step of liquefying hydrogen gas supplied by the source (2) and a step of transferring the liquefied hydrogen into the store (4), characterized in that the hydrogen liquefied by the liquefier (3) and transferred into the store (4) has a temperature lower than the bubble temperature of hydrogen at the storage pressure.

(57) Abrégé : Procédé de stockage et de distribution d'hydrogène liquéfié utilisant une installation (1) comprenant un stockage (4) d'hydrogène liquide à une pression déterminée de stockage, une source (2) d'hydrogène gazeux, un liquéfacteur (3) comprenant une entrée raccordée à la source (2) et une sortie raccordée au stockage (4) d'hydrogène liquide, le stockage (4) comprenant une conduite (10) de soutirage de liquide comprenant une extrémité raccordée au stockage (4) d'hydrogène liquide et une extrémité destinée à être raccordée à au moins un réservoir (8) mobile, le procédé comprenant une étape de liquéfaction d'hydrogène gazeux fourni par la source (2) et une étape de transfert de l'hydrogène liquéfié dans le stockage (4), caractérisé en ce que l'hydrogène liquéfié par le liquéfacteur

[Suite sur la page suivante]

SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17(iv))*

Publiée:

— *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*

— *avec revendications modifiées (art. 19(1))*

Procédé et installation de stockage et de distribution d'hydrogène liquéfié

5 L'invention concerne un procédé et installation de stockage et de distribution d'hydrogène liquéfié.

L'invention concerne plus particulièrement un procédé remplissage d'un réservoir d'hydrogène liquide, notamment un réservoir mobile d'une semi-remorque, le procédé comprenant une première étape de transfert d'une première quantité
10 d'hydrogène liquide dans le réservoir à partir d'une première source d'hydrogène liquide comprenant un liquéfacteur d'hydrogène, la première quantité d'hydrogène liquide étant prévue pour abaisser la température et la pression dans le réservoir.

15 Du fait de sa densité notamment, l'hydrogène liquide est privilégié par rapport à l'hydrogène gazeux lorsque de grandes quantités de produit doivent être transportées sur de grandes distances.

20 Un autre avantage de l'hydrogène liquide est lié à sa densité et la grande capacité de stockage dans une station-service d'hydrogène pour véhicule pile à combustible. Une température de 20K élimine de facto toutes les impuretés (solides à cette température) du gaz, ce qui optimise le fonctionnement des piles à combustible.

25 En revanche, du fait de la faible densité de l'hydrogène liquide (70g/litre) comparativement à l'eau, la pression disponible par hauteur hydrostatique est faible, ce qui rend le pompage difficile, et la basse température peut engendrer des pertes par évaporation assez importantes lors des
30 transferts de liquide.

En effet, les systèmes de chargement de camions et les réservoirs dans les usines de liquéfaction de l'hydrogène peuvent engendrer des pertes pouvant aller jusqu'à 15 % de la

production (par exemple 0.2% de perte du réservoir, 5% de perte du au « flash » dans la vanne de remplissage du réservoir et 10% de perte dans le camion).

Ces pertes par évaporation peuvent bien sûr être
5 récupérées, réchauffées, comprimées après stockage et réinjectées dans le liquéfacteur. Ceci est schématisé à la figure 1 qui représente une installation comprenant un stockage 4 de stockage de liquide produit. L'hydrogène est produit à partir d'une source 2 d'hydrogène gazeux qui est liquéfié dans
10 un liquéfacteur 3 avant son transfert dans le stockage 4. Le gaz de de vaporisation (boil-off) peut être prélevé dans une unité comprenant par exemple, en série, un réchauffeur 5, un réservoir 6 tampon (par exemple isobare), un organe 7 de compression. Le gaz récupéré et comprimé peut être admis à
15 l'entrée du liquéfacteur 3 en vue de sa reliquéfaction et réintroduction dans le stockage 4.

Par exemple, l'hydrogène liquide produit par le liquéfacteur 3 alimente le stockage 4 (par exemple dimensionné pour une autonomie de plusieurs jours de consommation afin de
20 palier à une panne du liquéfacteur) à une pression comprise par exemple entre 1,05 et 5 bar abs.

Classiquement, l'hydrogène liquide produit est à sa température de bulle à la pression du stockage du fait de la conception classique des unités de liquéfaction de
25 l'hydrogène, à cycle Claude à Hydrogène, où la liquéfaction est réalisée à travers une vanne à effet Joule Thompson.

Le réservoir 8 arrive à la station de chargement avec un petit pourcentage volumique d'hydrogène liquide (par exemple environ 5%), pressurisé (par exemple entre 3 et 10 bar abs) et
30 stratifié avec un ciel gazeux chaud (avec des températures pouvant arrivées jusqu'à 100 °K). Toutes les parois internes du réservoir 8 peuvent être aussi « chaudes » (normalement à la même température que le liquide avec lequel il est en contact).

Le ou les réservoirs 8 peuvent être remplis par gravité mais ceci ne permet pas un remplissage rapide du fait de la faible densité du liquide. Le remplissage peut être réalisé également par différence de pression (pression du stockage 4 plus élevée que la pression du réservoir 8, notamment une différence de pression comprise entre 300mbar et 1 bar, en fonction de la vitesse de remplissage désirée, ce qui provoque un flux lors d'une mise en communication fluïdique). Ces pertes de charge ont pour effet de vaporiser une partie du liquide (pertes de charges singulières dans les vannes ou accidents, ou pertes de charge dans la ligne).

De plus, le contact de l'hydrogène provenant du stockage 4 relativement plus froid avec les parois de métal relativement plus chaudes du réservoir 8 et avec les parois des tuyauteries de transfert causent aussi une importante évaporation.

L'hydrogène évaporé lors de cette opération est alors soit mis à l'air, soit recirculé dans le liquéfacteur 3 tel qu'illustré à la figure 1. Cette solution nécessite donc de dimensionner le liquéfacteur pour un débit supérieur à celui réellement utilisable. De plus, ceci nécessite d'investir dans un système de recirculation des gaz de flash, comprenant un réchauffeur, une capacité de stockage isobare (du type gazomètre) et un compresseur de gaz de flash, le gaz de flash peut aussi dans certains cas être directement renvoyé froid au liquéfacteur. Ceci perturbe cependant les opérations du liquéfacteur du fait de l'instabilité de débit de boil-off provenant des opérations de remplissage des camions.

Ces solutions génèrent donc des pertes de produit (rejet à l'air) ou nécessitent de dimensionner le liquéfacteur 3 et l'unité de récupération de gaz pour pouvoir absorber les gaz de vaporisation produits lors des remplissages de camions.

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

A cette fin, le procédé selon l'invention, par ailleurs conforme à la définition générique qu'en donne le préambule ci-dessus, est essentiellement caractérisé en ce que le procédé comprend une seconde étape de transfert d'une seconde quantité

5 d'hydrogène liquide dans le réservoir à partir d'une seconde source d'hydrogène liquide comprenant un stockage d'hydrogène liquide, dans laquelle la seconde quantité d'hydrogène liquide est transférée dans le réservoir par différence de pression entre le stockage d'hydrogène liquide et le réservoir.

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

- la première quantité d'hydrogène liquide fournie par la première source d'hydrogène liquide a une température

15 inférieure à la température de bulle de l'hydrogène à la pression de stockage dans le réservoir,

- la première quantité d'hydrogène liquide transférée dans le réservoir est l'une parmi : une quantité d'hydrogène liquide prédéfinie, une fraction prédéfinie du volume de

20 stockage de liquide dans le réservoir, la quantité d'hydrogène liquide correspondant à un durée prédéfinie de transfert d'hydrogène liquide depuis la première source d'hydrogène liquide vers le réservoir avec un débit déterminé, la quantité d'hydrogène liquide nécessaire pour abaisser la température et

25 la pression dans le réservoir de valeurs respectives prédéterminées, la quantité d'hydrogène liquide nécessaire pour atteindre dans le réservoir des valeurs respectives de température et de pression prédéterminées,

- le procédé comprend, entre la première étape de transfert et la seconde étape de transfert, une étape de

30 diminution de la pression au sein du réservoir comprenant au moins l'un parmi : un soutirage de gaz sous pression du réservoir vers le stockage, notamment par équilibrage de

pression, un soutirage de gaz sous pression vers l'extérieur, notamment une évacuation dans l'atmosphère,

- l'étape de diminution de la pression au sein du réservoir comprend un soutirage de gaz sous pression du réservoir vers la phase liquide du stockage, pour condenser au moins en partie ledit gaz sous pression dans le stockage,

- le procédé comprend une étape de transfert d'hydrogène liquide depuis la première source d'hydrogène liquide vers le stockage d'hydrogène liquide à une température ajustée pour maintenir la température dans le stockage dans un intervalle déterminé, notamment une température constante,

- le procédé comprend une étape de diminution de la pression au sein du réservoir via un soutirage de gaz sous pression du réservoir vers l'extérieur, notamment dans l'atmosphère, à l'issue de cette étape de diminution de la pression la pression au sein du réservoir restant supérieure à la pression atmosphérique,

- le procédé comprenant, préalablement à la première étape de transfert, une étape de mesure ou d'estimation des conditions initiales de pression et éventuellement de température au sein du réservoir,

- en fonction des conditions initiales de pression et éventuellement de température au sein du réservoir avant la première étape de transfert, le procédé comprenant ou non une étape de diminution de la pression au sein du réservoir,

- lorsque la pression initiale au sein du réservoir est comprise entre 1,05 et 12bar absolu notamment 3 bar absolu, la seconde étape de transfert est réalisée directement après la première étape de transfert, c'est-à-dire sans soutirage de fluide du réservoir entre ces deux étapes de transfert en vue d'une diminution de la pression dans le réservoir,

- , lorsque la pression initiale au sein du réservoir est comprise entre 4 et 8 bar abs notamment égale à 6 bar abs et

que la température initiale dans le réservoir est comprise entre 80 et 120 K notamment égale à 100K, le procédé comprend une étape de diminution de la pression au sein du réservoir entre les deux étapes de transfert,

5 - lorsque la pression initiale au sein du réservoir est comprise entre 8 et 12 bar abs notamment égale à 10 bar absolu et que la température initiale dans le réservoir est comprise entre 20 et 120 K notamment égale à 70K ou 100K, le procédé comprend une étape de diminution de la pression au sein du
10 réservoir entre les deux étapes de transfert,

 - la première quantité d'hydrogène liquide fournie par la première source d'hydrogène liquide a une température comprise entre la température de saturation à la pression du liquide et la température juste supérieure à la température de
15 solidification de l'hydrogène notamment une température de 15K à 23,7K pour une pression de stockage de 2,5 bar,

 - la première quantité d'hydrogène liquide fournie par la première source d'hydrogène liquide a une température inférieure de 0,1 à 12 degrés K par rapport à la température
20 de bulle de l'hydrogène à la pression de stockage dans le réservoir.

 - la première quantité d'hydrogène liquide fournie par la première source d'hydrogène liquide a une température comprise entre 20,4 K et 33 K pour une pression de stockage comprise
25 entre 1,05 et 12 bar et/ou une température comprise entre 15 K et 27,1 K pour une pression de stockage comprise entre 1,05 et 5bar.

 L'invention concerne également une installation de stockage et de distribution d'hydrogène liquéfié comprenant un
30 stockage d'hydrogène liquide à une pression déterminée de stockage, au moins un réservoir mobile à remplir, une source d'hydrogène gazeux, un liquéfacteur comprenant une entrée raccordée à la source et une sortie raccordée au stockage

d'hydrogène liquide, le stockage comprenant une conduite de soutirage de liquide comprenant une extrémité raccordée au stockage d'hydrogène liquide et au moins une autre extrémité destinée à être raccordée au(x) réservoir(s) mobile(s), le

5 liquéfacteur étant configuré pour produire et alimenter le stockage avec de l'hydrogène à une température inférieure à la température de bulle de l'hydrogène à la pression de stockage, l'installation comprenant une conduite de récupération de gaz vaporisé comprenant une extrémité destinée à être reliée au(x)

10 réservoir(s) et une extrémité destinée à être reliée au stockage, pour transférer ce gaz vaporisé dans le stockage en vue de sa liquéfaction, l'installation comprenant en outre une conduite de transfert ayant une extrémité raccordée à la sortie du liquéfacteur et une extrémité destinée à être raccordée

15 directement au(x) réservoir(s), l'installation étant configurée pour remplir le au moins un réservoir en transférant une première quantité d'hydrogène liquide du liquéfacteur dans le réservoir via la conduite de transfert puis une seconde quantité d'hydrogène liquide du stockage vers le réservoir via

20 la conduite de soutirage de liquide, l'installation étant configurée pour réaliser éventuellement entre les transferts des première et seconde quantités, une diminution de la pression au sein du réservoir comprenant au moins l'un parmi :

25 un soutirage de gaz sous pression du réservoir vers le stockage via la conduite de récupération, notamment par équilibrage de pression ; un soutirage de gaz sous pression vers l'extérieur, notamment dans l'atmosphère via une conduite de mise à l'air.

Selon d'autres particularités possibles :

- l'installation comprend un ensemble de capteur(s) de

30 mesure ou d'estimation des conditions initiales de pression et éventuellement de température au sein du réservoir avant remplissage et en ce que l'installation est configurée réaliser éventuellement, entre les transferts des première et seconde

quantités, une diminution de la pression au sein du réservoir en fonction desdites conditions initiales de pression et éventuellement de température au sein du réservoir.

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

- la figure 1 représente une vue schématique et partielle illustrant la structure et le fonctionnement d'une installation selon l'art antérieur,

- les figures 2 et 3 représentent des vues schématiques et partielles illustrant la structure et le fonctionnement d'un exemple d'installation selon l'invention.

Une installation 1 de stockage et de distribution d'hydrogène liquéfié selon un exemple de réalisation de l'invention est représenté à la figure 2. Les mêmes éléments que ceux de la figure 1 sont désignés par les mêmes références numériques.

L'installation 1 comprend un stockage 4 d'hydrogène liquide à une pression déterminée de stockage. Ce stockage 4 est par exemple un stockage isolé sous vide de grande capacité, par exemple de plusieurs centaines de mètres cubes. Ce stockage 4 contient classiquement une phase liquide avec une phase vapeur, ces deux phases pouvant, du fait de la taille du réservoir et des opérations de remplissage / vidange, ne pas être en équilibre thermodynamique.

Classiquement, la pression de stockage est de préférence régulée, par exemple à une valeur fixe (par exemple entre 1,05 et 11 bar, par exemple entre 1,1 et 5 bar notamment 2,5 bar absolu).

Par pression de stockage on entend par exemple la pression moyenne dans le stockage ou en partie basse du stockage ou en partie supérieure (dans le ciel gazeux). En effet, du fait de la faible densité de l'hydrogène, la pression dans la partie

inférieure du stockage est sensiblement égale à la pression en partie supérieure.

L'installation comprend en outre une source 2 d'hydrogène gazeux, un liquéfacteur 3 comprenant une entrée raccordée à la
5 source 2 et une sortie raccordée au stockage 4 d'hydrogène liquide.

La source 2 peut être un réseau d'hydrogène et/ou une unité de production d'hydrogène (par exemple vapo-reformage et/ou par électrolyse ou toute autre source appropriée). La
10 source peut ainsi comprendre également la récupération d'hydrogène d'une source impure (gaz résiduaire de raffinerie, hydrogène fatal provenant d'électrolyseur chloro alcalin, ...).

L'hydrogène fourni par la source 2 et liquéfié par le liquéfacteur 3 peut être transféré dans le stockage 4 de façon
15 intermittente et/ou en continu et/ou en cas de baisse du niveau de liquide dans le stockage 4 en dessous d'un seuil déterminé. De préférence, le niveau de liquide dans le stockage 4 est contrôlé automatiquement via l'approvisionnement de la part du liquéfacteur 3 (débit du liquéfacteur 3 et/ou vanne de
20 régulation du débit de liquide fourni au stockage 4).

L'installation comprend en outre une conduite 10 de soutirage de liquide comprenant une extrémité raccordée au
stockage 4 d'hydrogène liquide et une extrémité destinée à être raccordée à un ou des réservoir(s) 8 à remplir, notamment
25 des réservoir mobile(s) tels que des citernes montées sur des camions de livraison.

Cette conduite 10 de soutirage peut être pourvue d'une vanne 19, par exemple pilotée, et/ou une pompe ou autre.

Ces camions peuvent en particulier alimenter des
30 réservoirs fixes, notamment de stations de fourniture d'hydrogène à des véhicules.

Ainsi, le remplissage du stockage 4 peut être réalisé via une conduite 12 de remplissage qui débouche dans la partie

liquide, notamment dans le fond du stockage 4. Par exemple, cette conduite 12 peut transiter via l'espace d'isolation sous vide entre l'inter-parois de stockage 4 (cf. figure 2).

Le transfert/remplissage peut être contrôlé via une vanne
5 16 (par exemple pilotée) située sur cette conduite 12.

L'exemple d'installation de la figure 2 comprend en outre une conduite 13 de transfert ayant une extrémité raccordée à la sortie du liquéfacteur 3 et une extrémité destinée à être raccordée au(x) réservoir(s) 8 directement (sans passer par le
10 stockage 4). La conduite 13 de transfert peut être munie d'une vanne 20 (de préférence pilotée) pour transférer de l'hydrogène liquide du liquéfacteur 3 vers le réservoir 8.

Le liquéfacteur 3 est configuré pour produire un liquide sous refroidi, c'est-à-dire à une température inférieure à la
15 température de bulle de l'hydrogène à la pression du stockage.

Ce liquide dispose donc d'une « réserve d'énergie » avant de commencer à s'évaporer. Ceci peut être obtenu avec un liquéfacteurs à cycle de type « Turbo Brayton » où le fluide de travail est typiquement un mélange à base d'Hélium. Le
20 liquéfacteur 3 peut être par exemple un liquéfacteur dont le fluide de travail comprend ou est constitué d'hélium. Par exemple le liquéfacteur 3 peut comprendre un système cryogénique dit « turbo-Brayton » commercialisé par le demandeur pouvant assurer notamment une réfrigération et une
25 liquéfaction de 15 K à 200K.

Bien entendu, tout autre solution de liquéfaction peut être envisagée. Ainsi, par exemple, d'autres configurations sont possibles avec des cycles à fluide de travail hydrogène comprenant des vannes d'expansion sous vide, ou avec des
30 systèmes de sous refroidissement post liquéfaction de l'hydrogène de type turbine liquide ou cycle hélium additionnel.

Avec ce type de liquéfacteur 3, il est possible de fournir de l'hydrogène liquide sous-refroidi à des températures aussi basses que 15 °K et à des pressions aussi élevées que 10 bar absolu. Dans ce cas, le réservoir 8 peut être rempli en
5 plusieurs étapes et selon plusieurs cas de figures décrits ci-dessous.

En particulier, selon une première phase, le réservoir 8 peut être rempli partiellement directement par le liquéfacteur 3.

10 Dans cette première phase, le réservoir 8 peut être rempli via la conduite 13 de transfert avec de l'hydrogène provenant directement du liquéfacteur 3, qui est capable de fournir de l'hydrogène à la pression initiale régnant dans le réservoir 8 (pression d'arrivée du réservoir 8), qui peut être supérieure
15 à la pression dans le stockage 4.

Le liquide sous-refroidi transféré dans le réservoir 8 (de préférence en partie supérieure) entre en contact avec le ciel gazeux chaud du réservoir 8. Ceci fait abaisser la température et la pression du réservoir 8 en condensant une
20 partie du ciel gazeux.

Pendant cette première phase, le réservoir 8 peut passer dans un état stratifié (pas d'équilibre thermodynamique global lié à une non homogénéité des températures à l'équilibre). Le liquide sous-refroidi entrera en contact aussi avec les parois
25 internes (métal) relativement plus chaudes du réservoir 8 qui vont se refroidir.

Dans cette première étape ou première phase, la quantité d'hydrogène liquide transférée dans le réservoir 8 peut être l'une parmi :

- 30
- une quantité d'hydrogène liquide prédéfinie,
 - une fraction prédéfinie du volume de stockage de liquide dans le réservoir 8, par exemple un dixième,

- la quantité d'hydrogène liquide correspondant à une durée prédéfinie de transfert d'hydrogène liquide depuis la première source d'hydrogène liquide vers le réservoir 8 avec un débit déterminé,
- 5 - la quantité d'hydrogène liquide nécessaire pour abaisser la température et la pression dans le réservoir 8 de valeurs respectives prédéterminées, la quantité d'hydrogène liquide nécessaire pour atteindre dans le réservoir 8 des valeurs respectives de
- 10 température et de pression prédéterminées.

Dans une deuxième phase possible, le réservoir 8 peut être dépressurisé au moins partiellement dans le stockage 4.

- Au cours de cette deuxième phase possible, le réservoir 8 peut être dépressurisé par soutirage de gaz qui est renvoyé
- 15 (via une conduite 11 de récupération par exemple) dans la phase liquide du stockage 4.

Ce gaz chaud est alors en partie ou totalement condensé dans le stockage 4 par échange direct d'énergie avec le liquide sous refroidi du stockage 4.

- 20 Afin de condenser totalement cet hydrogène gazeux recirculé et maintenir la température du stockage 4 constante après chaque remplissage, la température de l'hydrogène liquide envoyé dans le stockage 4 par le liquéfacteur 3 peut être éventuellement ajusté à la baisse.

- 25 Dans une troisième phase possible, le réservoir 8 peut être dépressurisé au moins partiellement vers l'atmosphère ou une zone de récupération jusqu'à une pression inférieure à la pression du stockage 4. Ceci peut être réalisé par exemple via une conduite 15 de mise à l'air qui peut être munie d'une vanne
- 30 (par exemple commandé).

De préférence cette troisième phase de dépressurisation est interrompue de sorte que la pression dans le réservoir 8 est à une pression strictement supérieure à la pression

atmosphérique afin d'éviter tout problème de cryopompage d'air vers le réservoir 8.

Dans une quatrième phase le réservoir 8 est rempli (de préférence jusqu'à son niveau de remplissage cible) à partir
5 du stockage 4 et de préférence par différence de pression entre le stockage 4 et le réservoir 8. Dans cette quatrième phase le réservoir 8 est de préférence à une pression suffisamment basse pour que le remplissage par différence de pression avec le
10 stockage 4 soit possible (écart de pression entre 300 et 1000 mbar). Ce transfert peut être poursuivi ainsi jusqu'à ce que le liquide atteigne le niveau souhaité dans le réservoir 8.

Le procédé de remplissage utilise au moins la première phase et peut utiliser l'une ou plusieurs des autres phases définies ci-dessus.

15 De préférence, les conditions initiales du réservoir 8 (pression et/ou température) peuvent être mesurées ou déterminées. Le processus de remplissage peut en effet utiliser toutes ces phases ou omettre l'une ou plusieurs d'entre elles comme illustré dans les exemples décrits ci-après.

20 Par exemple, comme illustré à la figure 3, le dispositif peut comporter un ensemble 22 de capteur(s) de pression et/ou de température dans le réservoir 8.

Ainsi, lorsque les conditions initiales dans le réservoir 8 à remplir sont les suivantes : pression comprise entre 1 et
25 5bar et de préférence égale à 3 bar abs et température du ciel gazeux du réservoir est comprise entre 20K et 120K et de préférence égale à 70K, de préférence le processus de remplissage utilise des 1^{ère} et 4^{ème} phases et omet les 2^{ème} et 3^{ème} phases.

30 Lorsque la pression initiale comprise entre 5 et 8 bar et de préférence égale à 6 bar abs et que la température du ciel gazeux du réservoir est comprise entre 20 et 120K et de préférence égale à 100K, de préférence le processus de

remplissage utilise les quatre phases (c'est-à-dire y compris les phases intermédiaires de dépressurisation du réservoir 8).

5 Lorsque la pression initiale comprise entre 8 et 12 bar et de préférence égale à 10 bar abs et que la température du ciel gazeux du réservoir est comprise entre 20 et 120K et de préférence égale à 70K, de préférence le processus de remplissage utilise les quatre phases.

10 Les inventeurs ont mis en évidence que cette stratégie de remplissage permet de réduire les pertes de vaporisation provenant de différentes sources.

Ce procédé de remplissage utilise avantageusement la capacité de sous refroidissement du liquéfacteur 3 (type « Turbo Brayton » par exemple) et aussi sa capacité de fournir de l'hydrogène liquide à des pressions relativement élevées
15 (par exemple jusqu'à 10 bar absolu). Ceci permet d'éviter un système de recirculation du gaz vaporisé et le surdimensionnement du liquéfacteur 3. Ceci peut être évité au prix d'un léger surcoût énergétique dû à la liquéfaction comme explicité ci-après.

20 La première phase (première étape transfert) permet de mettre le réservoir 8 en équilibre thermodynamique et d'abaisser considérablement sa pression et sa température.

Lors de la première étape (phase 1), le fluide chaud présent dans le réservoir 8 peut être conservé dans le
25 réservoir 8 en fermant la vanne 21 sur la conduite 11 de retour au stockage 4 jusqu'à ce que la pression dans le réservoir 8 ait baissé suffisamment (jusqu'à un niveau de pression déterminé) du fait de la condensation des vapeurs chaudes par l'hydrogène liquide sous-refroidi provenant du liquéfacteur 3.

30 Après un temps déterminé par la pression dans le réservoir 8, ce remplissage partiel direct à partir du liquéfacteur 3 est arrêté et, selon la pression dans le réservoir 8, la poursuite (et la fin) du remplissage du réservoir 8 peut être

réalisée par différence de pression avec le stockage 4 (phase 4).

Si au contraire la pression du réservoir 8 reste trop élevée à l'issue de la première phase/étape, le réservoir 8 peut d'abord être dépressurisé dans le fond du stockage 4 (phase 2 qui est une étape de diminution de la pression au sein du réservoir 8) et/ou dépressurisé vers l'extérieur (phase 3 qui est une étape de diminution de la pression au sein du réservoir 8).

En cas de dépressurisation dans le stockage 4, le niveau dans le stockage 4 peut augmenter légèrement (moins de 1% en volume par exemple).

Pour condenser toute la masse de gaz chaud transféré dans le stockage 4 une quantité suffisante d'hydrogène liquide sous refroidi doit être envoyé au stockage par le liquéfacteur 3.

Le réglage du niveau de sous refroidissement du liquide en sortie de liquéfacteur 3 pourra ainsi être contrôlé pour limiter ou d'annuler les pertes d'hydrogène par évaporation.

Dans le cas où les conditions initiales du réservoir 8 sont trop "extrêmes" (pression égale ou supérieure à 10 bar abs et température du gaz égale ou supérieure à 100 °K par exemple), il peut être avantageux de ne pas réaliser la phase 2 ou seulement partiellement, pour éviter que la masse de gaz chaud dépressurisée ne perturbe les conditions du stockage 4 nécessitant, pour compenser, une trop grande quantité d'hydrogène liquide de la part du liquéfacteur 3.

En effet, cette masse additionnelle d'hydrogène liquide fournie par le liquéfacteur 3 peut causer un surcoût important. Pour éviter ceci, une solution alternative ou cumulative à la phase 2 peut être de dépressuriser le gaz chaud du réservoir 8 vers l'atmosphère (phase 3).

En revanche, dans des cas plus favorables (par exemple une pression initiale inférieure ou égale à 3 bar abs et une

température initiale inférieure ou égale à 70 °K), il est possible de remplir le réservoir 8 sans l'étape de diminution de pression (phases 2 et/ou 3).

5 Ainsi, dans ces situations la première étape (phase 1) peut être suffisante pour abaisser la pression dans le réservoir 8 en dessous de la pression du stockage 4 permettant un remplissage par différence de pression.

10 A noter qu'en cas de différence de pression insuffisante pression il est également possible d'utiliser une pompe pour transférer le liquide du stockage 4 vers le réservoir 8.

Les inventeurs ont mis en évidence que ce procédé permet de diminuer jusqu'à un facteur de huit à dix les pertes par évaporation par rapport à un remplissage classique.

15 Cette solution permet de s'affranchir d'un système de recirculation des gaz évaporés comme décrit en préambule.

La présente solution permet de diminuer l'investissement de l'installation ainsi au prix d'une consommation énergétique de liquéfaction faiblement augmentée.

20 De plus, en fonction du prix de l'énergie, de la valeur de l'hydrogène, le système décrit permet au global une économie globale sur le coût de production de l'hydrogène liquide livré dans les réservoirs 8.

25 La solution permet également d'augmenter le cas échéant le sous-refroidissement du liquide lorsque les quantités d'hydrogène disponibles sont plus faibles. Ceci permet avantageusement de régler le niveau de sous-refroidissement du liquide contenu dans le stockage 4. Ainsi, ce liquide dans le stockage 4 possède une « réserve d'énergie » ou « réserve de frigories » avant de commencer à s'évaporer.

30 Dans le cas où l'installation permet le remplissage de plusieurs réservoirs simultanément (plusieurs conduites 11, 13 ou plusieurs extrémités à ces conduites), de préférence l'installation 1 peut être configurée pour séquencer les

différentes étapes (phases) pour permettre d'utiliser de façon séquentielle la première étape de transfert (phase 1) entre les différents réservoirs 8. De même, l'installation 1 peut être configurée pour séquencer les autres étapes/phases pour les différents réservoirs 8 à remplir.

Par « configurée pour » on entend que l'installation peut être commandé manuellement et/ou automatiquement. Par exemple, comme schématisé à la figure 3, l'installation 1 peut comprendre un organe 23 électronique de commande comprenant par exemple un ordinateur ou microprocesseur configuré (programmé/commandé) pour contrôler et piloter tout ou partie des organes de l'installation (liquéfacteur, vanne(s), ...).

Le fluide chaud récupéré par la conduite 11 de récupération peut donc être renvoyé dans le stockage 4 pour y être refroidi/condensé. Cette configuration permet avantageusement de remplir des réservoirs 8 avec de l'hydrogène sous-refroidi à une pression supérieure à la pression maximale d'utilisation du réservoir 4, sans utiliser de pompe.

La vanne 21 de la conduite 11 de retour permet ainsi de conserver la pression et la masse d'hydrogène dans le stockage 8 par reliquéfaction directe.

De préférence, le liquéfacteur 3 est configuré pour produire et alimenter le stockage 4 avec de l'hydrogène à une température inférieure à la température de bulle de l'hydrogène à la pression de stockage.

La pression de stockage est comprise par exemple entre 1,05 bar et 5 bar notamment 2,5 bar.

Par exemple, l'hydrogène liquide produit par le liquéfacteur 3 et transféré dans le stockage 4 a une température inférieure de 0,1 à 12 degrés K par rapport à la température de bulle de l'hydrogène à la pression de stockage, notamment à une température comprise entre 16 K et 23 K pour une pression de stockage comprise entre 1,05 et 11 bar

notamment une température de 20,4 à 21K pour une pression de stockage de 2,5 bar

Par exemple, l'hydrogène liquide produit par le liquéfacteur et transféré dans le stockage 4 à une température comprise entre la température de saturation à la pression du liquide et la température de saturation à la pression de 1,1 bar abs, notamment une température de 20,4 à 23,7K pour une pression de stockage de 2,5 bar.

L'hydrogène liquide produit par le liquéfacteur et transféré dans le stockage 4 peut avoir une température comprise entre la température de saturation à la pression du liquide et la température juste supérieure à la température de solidification de l'hydrogène notamment une température de 15K à 23,7K pour une pression de stockage de 2,5 bar.

De même, l'hydrogène liquide produit par le liquéfacteur est transféré directement dans le réservoir 8 et éventuellement également dans le stockage 4 peut avoir une température comprise entre la température de saturation à la pression du liquide et la température juste supérieure à la température de solidification de l'hydrogène notamment une température de 15K à 23.7K pour une pression de stockage de 2,5 bar.

C'est-à-dire que le liquéfacteur 3 produit un liquide qui est sous refroidi par rapport aux configurations de l'art antérieur, c'est-à-dire à une température inférieure à la température de bulle de l'hydrogène à la pression du stockage 4.

Par température de bulle on désigne la température (à une pression donnée) à partir de laquelle apparaissent les premières bulles d'ébullition (vaporisation).

De préférence, le liquéfacteur 3 fournit directement l'hydrogène liquide aux conditions thermodynamiques sous refroidies. Par exemple, en sortie du liquéfacteur 3 l'hydrogène a des conditions de sous refroidissement qui

tiennent éventuellement compte du réchauffement dans le circuit menant jusqu'au stockage 4.

De préférence, les phases liquide et gazeuse d'hydrogène ne sont pas à l'équilibre thermodynamique dans le stockage 4.

5 C'est-à-dire que les phases gazeuse et liquide d'hydrogène du stockage 4 ont des températures respectives différentes. En particulier, l'hydrogène peut être à maintenu à une pression stable (pression de stockage) mais la température de l'hydrogène, notamment gazeux peut être stratifiée entre la
10 phase liquide froide en partie inférieure et la partie gazeuse plus chaude en partie supérieure.

Dans cette configuration (températures différentes entre la partie gazeuse et la partie liquide), la grande majorité de la partie gazeuse peut être à une température de 40K.

15 Or, le point critique de l'hydrogène est de 12,8 bar à 33K. Il n'est donc pas possible de condenser le gaz en augmentant la pression du gaz de manière isotherme à 40K.

On peut alors facilement conclure qu'en première approche, une pressurisation du stockage 4 par ajout de liquide
20 froid par le bas du stockage 4 est possible sans condensation du ciel gazeux.

Il est ainsi possible d'obtenir un système thermodynamique métastable (ou instable) comprenant un ciel gazeux relativement « chaud » (à une température supérieure ou
25 égale à 40K par exemple) et une partie liquide ayant une température correspondante à son point de bulle, ou inférieure. Il s'agit là d'un cas particulier d'un liquide sous refroidi associé à un ciel gazeux stratifié en température.

La pression de stockage peut être comprise et maintenue
30 entre 1,05 bar et 5 bar notamment 2,5 bar.

Le stockage 4 et le réservoir 8 peuvent être à double parois et isolés sous vide.

L'installation 1 peut comprendre une conduite 14 ayant une extrémité raccordée à la sortie du liquéfacteur et une extrémité débouchant dans la phase gazeuse du stockage 4 (en partie supérieure).

5 L'installation peut ainsi être configurée pour maintenir le niveau de liquide dans le stockage 4 au-dessus d'un seuil déterminé en approvisionnant automatiquement le stockage avec de l'hydrogène produit par le liquéfacteur 3.

10 Le contrôle de la pression dans le stockage 4 peut être réalisé par exemple en contrôlant la pression du ciel gazeux. Par exemple, la pression peut être augmentée (dispositif classique d'injection d'hydrogène plus chaud dans le ciel gazeux non représenté sur la figure par soucis de simplification). C'est-à-dire qu'un dispositif d'augmentation
15 de pression peut prélever du liquide dans le stockage, le réchauffer et le réinjecter dans la partie supérieure du stockage 4.

Pour diminuer la pression dans le stockage 4, une solution peut consister à injecter de l'hydrogène liquide provenant du liquéfacteur 3 en pluie dans la partie gazeuse. Ceci peut être
20 réalisé via une conduite 14 appropriée munie d'une vanne 17 par exemple. Pour diminuer la pression dans le stockage 4 il est également possible de rejeter à l'air une partie de l'hydrogène gazeux contenu dans le ciel gazeux (par exemple
25 conduite 18 munie d'une vanne non représentée).

L'invention peut s'appliquer à d'autres gaz que l'hydrogène le cas échéant.

REVENDICATIONS

1. Procédé remplissage d'un réservoir (8) d'hydrogène liquide, notamment un réservoir mobile d'une semi-remorque, le procédé comprenant une première étape (33) de transfert d'une première quantité d'hydrogène liquide dans le réservoir (8) à partir d'une première source d'hydrogène liquide comprenant un liquéfacteur (3) d'hydrogène, la première quantité d'hydrogène liquide étant prévue pour abaisser la température et la pression dans le réservoir (8), le procédé comprenant une seconde étape (34) de transfert d'une seconde quantité d'hydrogène liquide dans le réservoir (8) à partir d'une seconde source d'hydrogène liquide comprenant un stockage (4) d'hydrogène liquide, dans lequel la première quantité d'hydrogène liquide est transférée directement du liquéfacteur (3) d'hydrogène dans le réservoir (8) et la seconde quantité d'hydrogène liquide est transférée dans le réservoir (8) par différence de pression entre le stockage (4) d'hydrogène liquide et le réservoir (8).

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la première quantité d'hydrogène liquide fournie par la première source (3) d'hydrogène liquide a une température inférieure à la température de bulle de l'hydrogène à la pression de stockage dans le réservoir (8).

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que la première quantité d'hydrogène liquide transférée dans le réservoir (8) est l'une parmi : une quantité d'hydrogène liquide prédéfinie, une fraction prédéfinie du volume de stockage de liquide dans le réservoir (8), la quantité d'hydrogène liquide correspondant à une durée prédéfinie de transfert

d'hydrogène liquide depuis la première source d'hydrogène liquide vers le réservoir (8) avec un débit déterminé, la quantité d'hydrogène liquide nécessaire pour abaisser la température et la pression dans le réservoir (8) de valeurs respectives prédéterminées, la quantité d'hydrogène liquide nécessaire pour atteindre dans le réservoir (8) des valeurs respectives de température et de pression prédéterminées.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il comprend, entre la première étape (33) de transfert et la seconde étape (34) de transfert, une étape (38, 15) de diminution de la pression au sein du réservoir (8) comprenant au moins l'un parmi : un soutirage (38) de gaz sous pression du réservoir (8) vers le stockage (4), notamment par équilibrage de pression, un soutirage (15) de gaz sous pression vers l'extérieur, notamment une évacuation dans l'atmosphère.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'étape de diminution de la pression au sein du réservoir (8) comprend un soutirage (38) de gaz sous pression du réservoir (8) vers la phase liquide du stockage (4), pour condenser au moins en partie ledit gaz sous pression dans le stockage (4).

6. Procédé selon la revendication 4 ou 5, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de transfert d'hydrogène liquide depuis la première source (3) d'hydrogène liquide vers le stockage (4) d'hydrogène liquide à une température ajustée pour maintenir la température dans le stockage (4) dans un intervalle déterminé, notamment une température constante.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de diminution de la pression au sein du réservoir (8) via un

soutirage (15) de gaz sous pression du réservoir (8) vers l'extérieur, notamment dans l'atmosphère et en ce que ce que à l'issue de cette étape de diminution de la pression la pression au sein du réservoir (8) reste supérieure à la pression atmosphérique.

8. Procédé remplissage selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 caractérisé en ce qu'il comprend, préalablement à la première étape (33) de transfert, une étape de mesure ou d'estimation des conditions initiales de pression et éventuellement de température au sein du réservoir (8).

9. Procédé selon la revendication 8 combinée à l'une quelconque des revendications 4 à 7, caractérisé en ce que, en fonction des conditions initiales de pression et éventuellement de température au sein du réservoir (8) avant la première étape (33) de transfert, le procédé comprend ou non une étape de diminution de la pression au sein du réservoir (8).

10. Procédé remplissage selon la revendications 8 ou 9 combinée à l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que lorsque la pression initiale au sein du réservoir (8) est comprise entre 1,05 et 12bar absolu notamment 3 bar absolu, la seconde étape de transfert est réalisée directement après la première étape de transfert, c'est-à-dire sans soutirage de fluide du réservoir (8) entre ces deux étapes de transfert en vue d'une diminution de la pression dans le réservoir (8).

11. Procédé remplissage selon l'une quelconque des revendications 8 à 10 combinée à l'une quelconque des revendications 4 à 7, caractérisé en ce que, lorsque la pression initiale au sein du réservoir (8) est comprise entre 4 et 8 bar abs notamment égale à 6 bar abs et que la température initiale dans le réservoir (8) est comprise

entre 80 et 120 K notamment égale à 100K, le procédé comprend une étape de diminution de la pression au sein du réservoir (8) entre les deux étapes de transfert.

5 12. Procédé remplissage selon l'une quelconque des revendications 8 à 10 combinée à l'une quelconque des revendications 4 à 7, caractérisé en ce que lorsque la pression initiale au sein du réservoir (8) est comprise entre 8 et 12 bar abs notamment égale à 10 bar absolu et que la température initiale dans le réservoir (8) est
10 comprise entre 20 et 120 K notamment égale à 70K ou 100K, le procédé comprend une étape de diminution de la pression au sein du réservoir (8) entre les deux étapes de transfert.

15 13. Installation de stockage et de distribution d'hydrogène liquéfié comprenant un stockage (4) d'hydrogène liquide à une pression déterminée de stockage, au moins un réservoir (8) mobile à remplir, une source (2) d'hydrogène gazeux, un liquéfacteur (3) comprenant une entrée raccordée à la source (2) et une sortie raccordée
20 au stockage (4) d'hydrogène liquide, le stockage (4) comprenant une conduite (10) de soutirage de liquide comprenant une extrémité raccordée au stockage (4) d'hydrogène liquide et au moins une autre extrémité destinée à être raccordée au(x) réservoir(s) (8) mobile(s),
25 le liquéfacteur (3) étant configuré pour produire et alimenter le stockage (4) avec de l'hydrogène à une température inférieure à la température de bulle de l'hydrogène à la pression de stockage, l'installation comprenant une conduite (11) de récupération de gaz
30 vaporisé comprenant une extrémité destinée à être reliée au(x) réservoir(s) (8) et une extrémité destinée à être reliée au stockage (4), pour transférer ce gaz vaporisé dans le stockage (4) en vue de sa liquéfaction,

l'installation comprenant en outre une conduite (13) de transfert ayant une extrémité raccordée à la sortie du liquéfacteur (3) et une extrémité destinée à être raccordée directement au(x) réservoir(s) (8), l'installation étant configurée pour remplir le au moins un réservoir (8) en transférant une première quantité d'hydrogène liquide du liquéfacteur (3) dans le réservoir (8) via la conduite (13) de transfert puis une seconde quantité d'hydrogène liquide du stockage (4) vers le réservoir (8) via la conduite (10) de soutirage de liquide, l'installation étant configurée pour réaliser éventuellement entre les transferts des première et seconde quantités, une diminution de la pression au sein du réservoir comprenant au moins l'un parmi : un soutirage de gaz sous pression du réservoir (8) vers le stockage (4) via la conduite (11) de récupération, notamment par équilibrage de pression ; un soutirage de gaz sous pression vers l'extérieur, notamment dans l'atmosphère via une conduite (15) de mise à l'air.

14. Installation selon la revendication 13, caractérisé en ce qu'elle comprend un ensemble de capteur(s) (22) de mesure ou d'estimation des conditions initiales de pression et éventuellement de température au sein du réservoir (8) avant remplissage et en ce que l'installation est configurée réaliser ou non, entre les transferts des première et seconde quantités, une diminution de la pression au sein du réservoir (8) en fonction desdites conditions initiales de pression et éventuellement de température au sein du réservoir (8).

REVENDICATIONS

1. Procédé de remplissage d'un réservoir (8)
d'hydrogène liquide, par exemple un réservoir mobile d'une
5 semi-remorque, le procédé comprenant une première étape
(33) de transfert d'une première quantité d'hydrogène
liquide dans le réservoir (8) à partir d'une première
source d'hydrogène liquide comprenant un liquéfacteur (3)
d'hydrogène, la première quantité d'hydrogène liquide
10 étant prévue pour abaisser la température et la pression
dans le réservoir (8), le procédé comprenant une seconde
étape (34) de transfert d'une seconde quantité d'hydrogène
liquide dans le réservoir (8) à partir d'une seconde source
d'hydrogène liquide comprenant un stockage (4) d'hydrogène
15 liquide, dans lequel la première quantité d'hydrogène
liquide est transférée directement du liquéfacteur (3)
d'hydrogène dans le réservoir (8) et la seconde quantité
d'hydrogène liquide est transférée dans le réservoir (8)
par différence de pression entre le stockage (4)
20 d'hydrogène liquide et le réservoir (8).

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce
que la première quantité d'hydrogène liquide fournie par
la première source (3) d'hydrogène liquide a une
température inférieure à la température de bulle de
25 l'hydrogène à la pression de stockage dans le réservoir
(8).

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1
ou 2, caractérisé en ce que la première quantité
d'hydrogène liquide transférée dans le réservoir (8) est
30 l'une parmi : une quantité d'hydrogène liquide prédéfinie,
une fraction prédéfinie du volume de stockage de liquide
dans le réservoir (8), la quantité d'hydrogène liquide
correspondant à une durée prédéfinie de transfert

d'hydrogène liquide depuis la première source d'hydrogène liquide vers le réservoir (8) avec un débit déterminé, la quantité d'hydrogène liquide nécessaire pour abaisser la température et la pression dans le réservoir (8) de valeurs respectives prédéterminées, la quantité d'hydrogène liquide nécessaire pour atteindre dans le réservoir (8) des valeurs respectives de température et de pression prédéterminées.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il comprend, entre la première étape (33) de transfert et la seconde étape (34) de transfert, une étape (38, 15) de diminution de la pression au sein du réservoir (8) comprenant au moins l'un parmi : un soutirage (38) de gaz sous pression du réservoir (8) vers le stockage (4), notamment par équilibrage de pression, un soutirage (15) de gaz sous pression vers l'extérieur, notamment une évacuation dans l'atmosphère.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'étape de diminution de la pression au sein du réservoir (8) comprend un soutirage (38) de gaz sous pression du réservoir (8) vers la phase liquide du stockage (4), pour condenser au moins en partie ledit gaz sous pression dans le stockage (4).

6. Procédé selon la revendication 4 ou 5, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de transfert d'hydrogène liquide depuis la première source (3) d'hydrogène liquide vers le stockage (4) d'hydrogène liquide à une température ajustée pour maintenir la température dans le stockage (4) dans un intervalle déterminé, notamment une température constante.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de diminution de la pression au sein du réservoir (8) via un

soutirage (15) de gaz sous pression du réservoir (8) vers l'extérieur, notamment dans l'atmosphère et en ce que ce que à l'issue de cette étape de diminution de la pression la pression au sein du réservoir (8) reste supérieure à la pression atmosphérique.

8. Procédé remplissage selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 caractérisé en ce qu'il comprend, préalablement à la première étape (33) de transfert, une étape de mesure ou d'estimation des conditions initiales de pression et éventuellement de température au sein du réservoir (8).

9. Procédé selon la revendication 8 combinée à l'une quelconque des revendications 4 à 7, caractérisé en ce que, en fonction des conditions initiales de pression et éventuellement de température au sein du réservoir (8) avant la première étape (33) de transfert, le procédé comprend ou non une étape de diminution de la pression au sein du réservoir (8).

10. Procédé remplissage selon la revendications 8 ou 9 combinée à l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que lorsque la pression initiale au sein du réservoir (8) est comprise entre 1,05 et 12bar absolu notamment 3 bar absolu, la seconde étape de transfert est réalisée directement après la première étape de transfert, c'est-à-dire sans soutirage de fluide du réservoir (8) entre ces deux étapes de transfert en vue d'une diminution de la pression dans le réservoir (8).

11. Procédé remplissage selon l'une quelconque des revendications 8 à 10 combinée à l'une quelconque des revendications 4 à 7, caractérisé en ce que, lorsque la pression initiale au sein du réservoir (8) est comprise entre 4 et 8 bar abs notamment égale à 6 bar abs et que la température initiale dans le réservoir (8) est comprise

entre 80 et 120 K notamment égale à 100K, le procédé comprend une étape de diminution de la pression au sein du réservoir (8) entre les deux étapes de transfert.

5 12. Procédé remplissage selon l'une quelconque des revendications 8 à 10 combinée à l'une quelconque des revendications 4 à 7, caractérisé en ce que lorsque la pression initiale au sein du réservoir (8) est comprise entre 8 et 12 bar abs notamment égale à 10 bar absolu et
10 que la température initiale dans le réservoir (8) est comprise entre 20 et 120 K notamment égale à 70K ou 100K, le procédé comprend une étape de diminution de la pression au sein du réservoir (8) entre les deux étapes de transfert.

15 13. Installation de stockage et de distribution d'hydrogène liquéfié comprenant un stockage (4) d'hydrogène liquide à une pression déterminée de stockage, au moins un réservoir (8) mobile à remplir, une source (2) d'hydrogène gazeux, un liquéfacteur (3) comprenant une entrée raccordée à la source (2) et une sortie raccordée
20 au stockage (4) d'hydrogène liquide, le stockage (4) comprenant une conduite (10) de soutirage de liquide comprenant une extrémité raccordée au stockage (4) d'hydrogène liquide et au moins une autre extrémité destinée à être raccordée au(x) réservoir(s) (8) mobile(s),
25 le liquéfacteur (3) étant configuré pour produire et alimenter le stockage (4) avec de l'hydrogène à une température inférieure à la température de bulle de l'hydrogène à la pression de stockage, l'installation comprenant une conduite (11) de récupération de gaz
30 vaporisé comprenant une extrémité destinée à être reliée au(x) réservoir(s) (8) et une extrémité destinée à être reliée au stockage (4), pour transférer ce gaz vaporisé dans le stockage (4) en vue de sa liquéfaction,

l'installation comprenant en outre une conduite (13) de transfert ayant une extrémité raccordée à la sortie du liquéfacteur (3) et une extrémité destinée à être raccordée directement au(x) réservoir(s) (8), l'installation étant configurée pour remplir le au moins un réservoir (8) en transférant une première quantité d'hydrogène liquide du liquéfacteur (3) dans le réservoir (8) via la conduite (13) de transfert puis une seconde quantité d'hydrogène liquide du stockage (4) vers le réservoir (8) via la conduite (10) de soutirage de liquide, l'installation étant configurée pour réaliser éventuellement entre les transferts des première et seconde quantités, une diminution de la pression au sein du réservoir comprenant au moins l'un parmi : un soutirage de gaz sous pression du réservoir (8) vers le stockage (4) via la conduite (11) de récupération, notamment par équilibrage de pression ; une soutirage de gaz sous pression vers l'extérieur, notamment dans l'atmosphère via une conduite (15) de mise à l'air.

14. Installation selon la revendication 13, caractérisé en ce qu'elle comprend un ensemble de capteur(s) (22) de mesure ou d'estimation des conditions initiales de pression et éventuellement de température au sein du réservoir (8) avant remplissage et en ce que l'installation est configurée réaliser ou non, entre les transferts des première et seconde quantités, une diminution de la pression au sein du réservoir (8) en fonction desdites conditions initiales de pression et éventuellement de température au sein du réservoir (8).

1 / 2

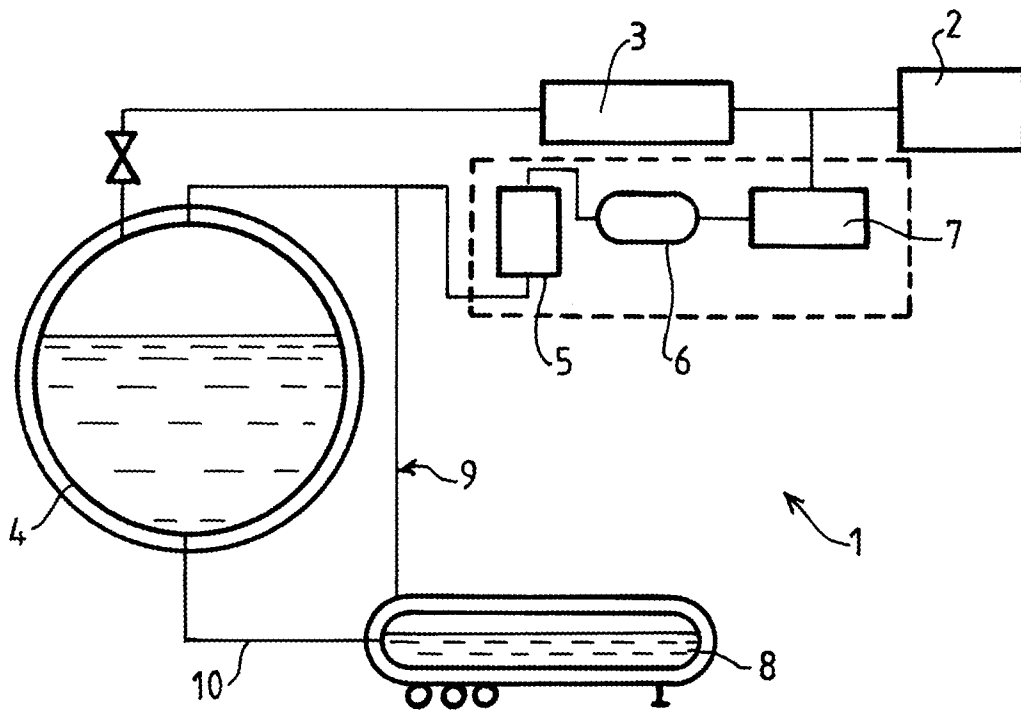


FIG. 1

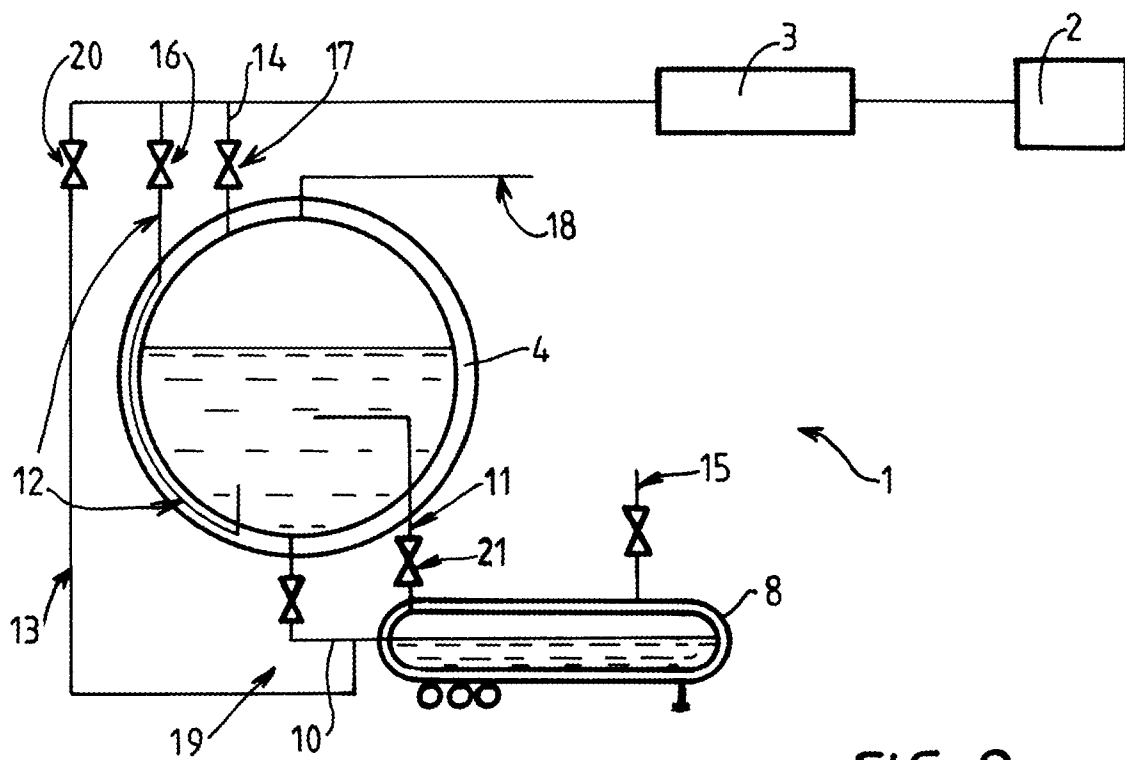


FIG. 2

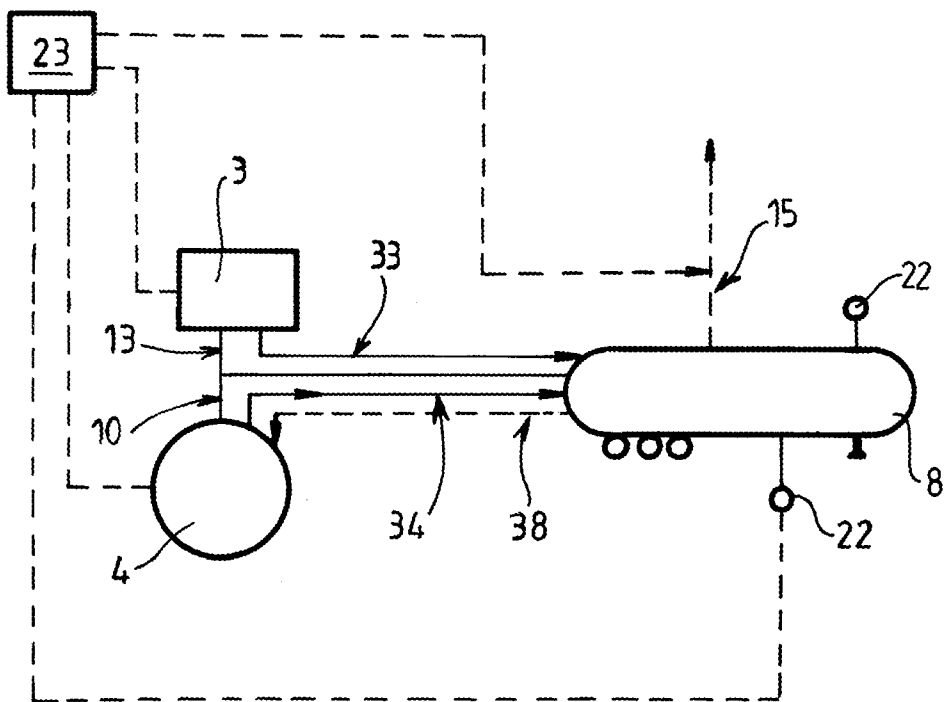


FIG.3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2019/052232

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER*F17C 5/02*(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F17C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 102010047300 A1 (LINDE AG [DE]) 05 April 2012 (2012-04-05) paragraphs [0001], [0004], [0011], [0015], [0017], [0019]; figure 1	1-14
A	US 2017268463 A1 (SVOBODA KATHRYN C [US]) 21 September 2017 (2017-09-21) paragraphs [0002], [0008], [0017], [0020], [0021]	1-14
A	GB 2515091 A (LINDE AG [DE]) 17 December 2014 (2014-12-17) paragraphs [0003] - [0006], [0012]	1-14
A	FR 3017183 A1 (CRYOSTAR SAS [FR]) 07 August 2015 (2015-08-07) pages 2,5-8	1-14
A	FR 3017184 A1 (CRYOSTAR SAS [FR]) 07 August 2015 (2015-08-07) pages 2,3,6-10	1-14



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

03 December 2019

Date of mailing of the international search report

02 January 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Ott, Thomas

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/FR2019/052232

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102010047300	A1	05 April 2012	NONE			
US	2017268463	A1	21 September 2017	NONE			
GB	2515091	A	17 December 2014	NONE			
FR	3017183	A1	07 August 2015	NONE			
FR	3017184	A1	07 August 2015	EP	3102868	A2	14 December 2016
				FR	3017184	A1	07 August 2015
				WO	2015114283	A2	06 August 2015

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. F17C5/02
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
F17C

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	DE 10 2010 047300 A1 (LINDE AG [DE]) 5 avril 2012 (2012-04-05) alinéas [0001], [0004], [0011], [0015], [0017], [0019]; figure 1 -----	1-14
A	US 2017/268463 A1 (SVOBODA KATHRYN C [US]) 21 septembre 2017 (2017-09-21) alinéas [0002], [0008], [0017], [0020], [0021] -----	1-14
A	GB 2 515 091 A (LINDE AG [DE]) 17 décembre 2014 (2014-12-17) alinéas [0003] - [0006], [0012] -----	1-14
A	FR 3 017 183 A1 (CRYOSTAR SAS [FR]) 7 août 2015 (2015-08-07) pages 2,5-8 -----	1-14
	-/-	



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

3 décembre 2019

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

02/01/2020

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Ott, Thomas

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	FR 3 017 184 A1 (CRYOSTAR SAS [FR]) 7 août 2015 (2015-08-07) pages 2,3,6-10 -----	1-14

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2019/052232

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 102010047300 A1	05-04-2012	AUCUN	
US 2017268463 A1	21-09-2017	AUCUN	
GB 2515091 A	17-12-2014	AUCUN	
FR 3017183 A1	07-08-2015	AUCUN	
FR 3017184 A1	07-08-2015	EP 3102868 A2	14-12-2016
		FR 3017184 A1	07-08-2015
		WO 2015114283 A2	06-08-2015