(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
27 octobre 2022 (27.10.2022)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2022/223909 A1

(51) Classification internationale des brevets :
F25J 1/00 (2006.01) *F25J 1/02* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2022/050701

(22) Date de dépôt international :
14 avril 2022 (14.04.2022)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
2104153 21 avril 2021 (21.04.2021) FR

(71) Déposant : **GAZTRANSPORT ET TECHNIGAZ** [FR/FR] ; 1 Route de Versailles, 78470 SAINT REMY LES CHEVREUSE (FR).

(72) Inventeurs : **AOUN, Bernard** ; C/O Gaztransport et Technigaz, 1 Route de Versailles, 78470 SAINT REMY LES CHEVREUSE (FR). **BORISEVICH, Pavel** ; C/O Gaztransport et Technigaz, 1 route de Versailles, 78470 SAINT REMY LES CHEVREUSE (FR).

(74) Mandataire : **EX MATERIA** ; 2 Rue Hélène Boucher, 78280 GUYANCOURT (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, IT, JM, 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,

(54) **Title:** DEVICE FOR LIQUEFYING GASEOUS DIHYDROGEN FOR OFFSHORE OR ONSHORE STRUCTURE

(54) **Titre :** DISPOSITIF DE LIQUÉFACTION DE DIHYDROGÈNE GAZEUX POUR OUVRAGE FLOTTANT OU TERRESTRE

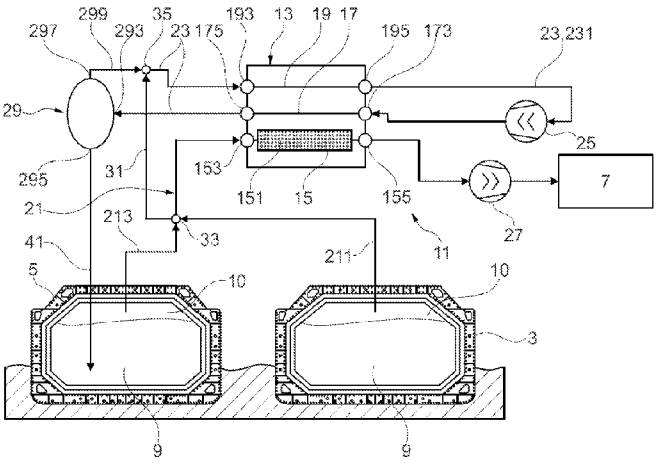


Figure 1

(57) **Abstract:** The present invention relates to a device (11) for liquefying gaseous dihydrogen resulting from the evaporation of dihydrogen in the liquid state (9) stored in at least one tank (3, 5). The liquefaction device (11) comprising at least one heat exchanger (13), at least one feed branch (21) configured to convey at least one portion of the gaseous dihydrogen from the tank (3, 5) to a gaseous dihydrogen consumer (7), a part of the feed branch passing through the heat exchanger inside of which is placed a catalyst (151) that is involved in the conversion of the parahydrogen to orthohydrogen, at least one cooling branch (23) comprising at least one compression member (25); a portion of the cooling branch (23) passing through the heat exchanger (13) exchanges heat with the first pass (15) in order to liquefy at least one portion of the dihydrogen circulating in the cooling branch and to heat the dihydrogen circulating in the

WO 2022/223909 A1

[Suite sur la page suivante]

SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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), eurasien (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).

Publiée:

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

feed branch (21).

(57) Abrégé : La présente invention concerne un dispositif de liquéfaction (11) de dihydrogène gazeux issu de l'évaporation de dihydrogène à l'état liquide (9) stocké dans au moins une cuve (3, 5). Le dispositif de liquéfaction (11) comprenant au moins un échangeur thermique (13), au moins une branche d'alimentation (21) configurée pour amener au moins une portion du dihydrogène gazeux depuis la cuve (3, 5) jusqu'à un consommateur (7) de dihydrogène gazeux, une partie de la branche d'alimentation traversant l'échangeur thermique à l'intérieur de laquelle est disposé un catalyseur (151) intervenant dans la conversion du para hydrogène en ortho hydrogène, au moins une branche de refroidissement (23) comportant au moins un organe de compression (25), une portion de la branche de refroidissement (23) traversant l'échangeur thermique (13) échange des calories avec la première passe (15) afin de liquéfier au moins une partie du dihydrogène circulant dans la branche de refroidissement et de réchauffer le dihydrogène circulant dans la branche d'alimentation (21).

DESCRIPTION

Titre de l'invention : Dispositif de liquéfaction de dihydrogène gazeux pour ouvrage flottant ou terrestre

La présente invention se rapporte au domaine des ouvrages flottants ou des ouvrages terrestres dont au moins un consommateur est alimenté par du dihydrogène. Ces ouvrages permettent de stocker et/ou de transporter du dihydrogène à l'état liquide. Elle concerne plus particulièrement un dispositif de liquéfaction de dihydrogène gazeux utilisé en tant que carburant pour l'au moins un consommateur d'un ouvrage, notamment flottant ou terrestre.

Afin de transporter et/ou de stocker plus facilement du dihydrogène, le dihydrogène est généralement à l'état liquide en le refroidissant à des températures cryogéniques inférieures à la température de vaporisation du dihydrogène à pression atmosphérique. Le dihydrogène est, par exemple, refroidi à -253°C à pression atmosphérique pour passer à l'état liquide. Ce dihydrogène liquéfié est ensuite chargé dans des cuves dédiées de l'ouvrage.

De telles cuves ne sont néanmoins jamais parfaitement isolées thermiquement de sorte qu'une évaporation naturelle du dihydrogène à l'état liquide est inévitable. Le phénomène d'évaporation naturelle est appelé Boil-Off en anglais et le gaz issu de cette évaporation naturelle est appelé Boil-Off Gas en anglais, dont l'acronyme est BOG. Les cuves de l'ouvrage comprennent ainsi à la fois du dihydrogène sous forme liquide et du dihydrogène sous forme gazeuse.

Une partie du dihydrogène présent dans la cuve sous forme gazeuse peut être utilisée pour alimenter un consommateur, tel qu'une pile à combustible, prévu pour pourvoir aux besoins énergétiques de fonctionnement de l'ouvrage, notamment pour sa propulsion et/ou la production d'électricité pour les équipements de bord de l'ouvrage. Une autre partie du dihydrogène sous forme gazeuse peut être reliquéfié afin de limiter l'augmentation de la pression à l'intérieur de la cuve au lieu d'utiliser l'évent et ainsi perdre du dihydrogène.

Ces dispositifs de liquéfaction présentent l'inconvénient d'être complexe et difficile à mettre en œuvre notamment en raison des propriétés du dihydrogène. Le rendement de liquéfaction est faible de sorte que le transport de dihydrogène à l'état liquide reste onéreux et peu rentable.

La présente invention a pour objet de palier au moins un des inconvénients précités et de conduire en outre à d'autres avantages en proposant un nouveau dispositif de liquéfaction de dihydrogène gazeux issu de l'évaporation de dihydrogène à l'état liquide.

La présente invention propose un dispositif de liquéfaction de dihydrogène gazeux issu de l'évaporation de dihydrogène à l'état liquide stocké dans au moins une cuve, le dispositif de liquéfaction comprenant au moins un échangeur thermique à plusieurs passes, au moins une branche d'alimentation configurée pour amener au moins une portion du dihydrogène gazeux depuis la cuve jusqu'à un consommateur de dihydrogène gazeux, une partie de la branche d'alimentation traversant l'échangeur thermique via une première passe à l'intérieur de laquelle est disposé un catalyseur intervenant dans la conversion de l'isomère para du dihydrogène en isomère ortho du dihydrogène, le dispositif de liquéfaction comprenant au moins une branche de refroidissement configurée pour liquéfier au moins une partie du dihydrogène gazeux, la branche de refroidissement comportant au moins un organe de compression, une portion de la branche de refroidissement traversant l'échangeur thermique via une deuxième passe disposée après l'organe de compression, la deuxième passe échangeant des calories avec la première passe afin de liquéfier au moins une partie du dihydrogène circulant dans la branche de refroidissement.

Dans la présente invention, le dispositif de liquéfaction est configuré pour mettre en œuvre, au sein d'un échangeur thermique, des échanges de calories entre du dihydrogène gazeux à températures cryogéniques destiné à être utilisé comme carburant par un consommateur et du dihydrogène gazeux à températures cryogéniques destiné à être liquéfié au moins en partie, le dihydrogène gazeux à températures cryogéniques étant issu d'une ou plusieurs cuves. On entend par « cryogénique » une température inférieure à -40°C, voire inférieure à -90°C, et de préférence inférieure à -150°C.

Le dihydrogène se présente sous deux formes appelées isomères de spin nucléaire, autrement nommés orthohydrogène et parahydrogène. L'orthohydrogène est du dihydrogène composé de molécules dans lesquelles les deux protons, un dans chaque atome de la molécule, ont des spins parallèles et de même sens entre eux. Le parahydrogène est du dihydrogène composé de molécules dans lesquelles les deux protons, un dans chaque atome de la molécule, ont des spins antiparallèles.

Le dihydrogène à l'état liquide, c'est-à-dire pour une température inférieure ou égale à -253°C à pression atmosphérique, est constitué à 99,8% de parahydrogène. En revanche à température ambiante et à l'équilibre thermique, le dihydrogène se compose d'environ 75% d'orthohydrogène et 25% de parahydrogène.

L'enthalpie de la réaction d'isomérisation du parahydrogène en orthohydrogène est égale à +525 kJ/kg indiquant une réaction endothermique. Par comparaison, l'enthalpie de vaporisation du dihydrogène n'est que de 476 kJ/kg. Toutefois, la réaction d'isomérisation du parahydrogène en orthohydrogène est de l'ordre de quelques jours. On comprend dans ce contexte que même si le dihydrogène est gazeux et à 25°C, la proportion de parahydrogène peut être toujours très largement majoritaire.

Le dihydrogène gazeux issu de l'évaporation de dihydrogène stocké à l'état liquide dans la cuve est destiné à être utilisé comme carburant par le consommateur et circule dans une première passe de l'échangeur thermique. La première passe comprend un catalyseur qui permet d'accélérer la réaction d'isomérisation du parahydrogène en orthohydrogène et donc permet de profiter de la capacité d'absorption d'énergie de la réaction d'isomérisation lors de l'échange de calories avec la deuxième passe de l'échangeur thermique.

Le dihydrogène gazeux à températures cryogéniques destiné à être liquéfié passe par un organe de compression puis dans la deuxième passe de l'échangeur thermique pour y être liquéfié, au moins en partie.

Dans la seconde passe, le dihydrogène gazeux comprimé cède ses calories au dihydrogène gazeux présent dans la première passe. Le dihydrogène gazeux qui circule dans la première passe s'isomérise rapidement en présence du catalyseur, en plus de se

réchauffer, avec l'absorption des calories reçues de la deuxième passe. Le dihydrogène gazeux comprimé qui circule dans la deuxième passe se refroidit jusqu'à se condenser.

Le dispositif de liquéfaction permet ainsi de valoriser l'évaporation de la cargaison nominale de dihydrogène à l'état liquide stocké dans une ou plusieurs cuves.

Selon un mode de réalisation, le catalyseur est choisi parmi les gels de nickel, de cuivre, de fer ou d'hydrure métallique, de films de nickel, de cuivre ou de fer, des hydroxydes de fer, de cobalt, de nickel, de chrome, de manganèse, des oxydes de fer, des complexes nickel-silicium, un charbon actif et/ou au moins une de leurs associations.

Selon un mode de réalisation, la branche d'alimentation comprend au moins un dispositif de compression agencé après une sortie de la première passe. En d'autres mots, le dispositif de compression est disposé entre une sortie de la première passe et le consommateur de dihydrogène. Par conséquent, lorsque le dihydrogène gazeux circule dans la branche d'alimentation, il passe au travers du dispositif de compression après être sorti de la première passe de l'échangeur thermique et avant de rejoindre le consommateur. Le dispositif de compression permet notamment de mettre en circulation forcée le dihydrogène gazeux dans la branche d'alimentation, la pression du dihydrogène étant éventuellement également élevée.

Selon un mode de réalisation, une autre portion de la branche de refroidissement traverse l'échangeur thermique via une troisième passe, une sortie de la troisième passe étant reliée à une entrée de la deuxième passe par une portion de liaison de la branche de refroidissement, la portion de liaison comprenant l'organe de compression. Ainsi, lorsque le dihydrogène circule dans la branche de refroidissement, il passe dans la troisième passe de l'échangeur thermique, puis il passe au travers du dispositif de compression et ensuite il traverse la deuxième passe de l'échangeur thermique pour y être liquéfié, au moins partiellement.

Selon un mode de réalisation, la deuxième passe de l'échangeur thermique est agencée de manière à échanger des calories avec la première passe et la troisième passe de l'échangeur thermique.

Selon un mode de réalisation, le dispositif de liquéfaction comprend un séparateur gaz-liquide agencé sur la branche de refroidissement après une sortie de la deuxième passe. Lorsque le dihydrogène circule dans la branche de refroidissement après être sorti successivement de la troisième passe puis de la deuxième passe de l'échangeur thermique, le dihydrogène peut ne pas être complètement liquéfié. Ainsi, il peut se présenter sous la forme d'un fluide diphasique c'est-à-dire qu'une partie du dihydrogène est sous forme liquide et une partie sous forme gazeux après avoir parcouru la deuxième passe, les deux phases étant alors mélangées. Le séparateur gaz-liquide va notamment permettre de séparer la forme liquide du dihydrogène de la forme gazeuse du dihydrogène.

Selon un mode de réalisation, la branche de refroidissement comprend un dispositif de détente agencé entre une sortie de la deuxième passe de l'échangeur thermique et une entrée du séparateur gaz-liquide.

Selon un mode de réalisation, le dispositif de liquéfaction est configuré pour mettre en communication fluidique une sortie de liquide du séparateur gaz-liquide avec une cuve. La communication fluidique entre la sortie de liquide du séparateur gaz-liquide et une cuve peut être assurée par une troisième portion de la conduite de refroidissement. Ainsi, le dihydrogène liquéfié peut être renvoyée dans la cuve où le dihydrogène gazeux a été prélevé ou il peut être envoyé dans une cuve de stockage de dihydrogène à l'état liquide différente de la cuve où le dihydrogène gazeux a été prélevé.

Selon un mode de réalisation, une sortie de gaz du séparateur gaz-liquide est en communication fluidique avec la branche de refroidissement avant une entrée de la troisième passe de l'échangeur thermique. Plus précisément, la communication fluidique entre la sortie de gaz du séparateur gaz-liquide est assurée par une branche de liaison reliant la sortie de gaz du séparateur gaz-liquide et un point de jonction agencé sur la branche de refroidissement. Le point de jonction est avant une entrée de la troisième passe de l'échangeur thermique. Par conséquent, la phase gazeuse du dihydrogène dans le séparateur gaz-liquide peut être envoyée dans la branche de refroidissement afin d'y être valorisée.

Selon un mode de réalisation, le dispositif de liquéfaction comprend une branche de dérivation reliant un point de convergence agencé sur la branche d'alimentation avant une entrée de la première passe de l'échangeur thermique et un point de jonction agencé sur la branche de refroidissement avant l'organe de compression (25).

Selon un mode de réalisation, le point de jonction est agencé sur la branche de refroidissement avant une entrée de la troisième passe de l'échangeur thermique. Autrement dit, le point de convergence est entre une sortie de gaz d'une cuve d'où est prélevé le dihydrogène gazeux et l'échangeur thermique, lorsque le dihydrogène circule dans la branche de refroidissement. Cela permet notamment d'utiliser du dihydrogène venant de la même cuve que celui circulant dans la branche d'alimentation.

Selon un mode de réalisation, le point de jonction est agencé sur la branche de refroidissement entre une sortie de la troisième passe de l'échangeur thermique et une entrée de l'organe de compression.

Selon un mode de réalisation, une quatrième passe de l'échangeur thermique est constitutive de la branche de dérivation.

Selon un mode de réalisation, la quatrième passe de l'échangeur thermique est agencée de manière à échanger des calories avec la deuxième passe et la troisième passe de l'échangeur thermique. Ainsi, la deuxième passe de l'échangeur thermique est disposée de manière à échanger des calories avec la première passe de l'échangeur thermique et la quatrième passe de l'échangeur thermique. Un des avantages d'une telle architecture est de refroidir le dihydrogène provenant de la branche de dérivation et traversant la quatrième passe de l'échangeur thermique avant d'être mélangé au dihydrogène provenant de la branche de liaison et traversant la troisième passe de l'échangeur thermique. Du dihydrogène plus froid est ainsi obtenu à l'entrée de la seconde passe. On améliore donc le rendement de reliquéfaction du dispositif de liquéfaction. De plus, la consommation énergétique du dispositif de liquéfaction est diminuée.

L'invention a par ailleurs pour objet un ouvrage, notamment flottant ou terrestre, comprenant au moins une cuve destinée au transport et/ou au stockage de dihydrogène à l'état liquide, l'ouvrage comprenant au moins un consommateur de dihydrogène en tant

que carburant et au moins un dispositif de liquéfaction présentant au moins une des caractéristiques précédemment décrites, l'au moins un consommateur étant configuré pour être alimenté en carburant par le dihydrogène à l'état gazeux circulant au moins en partie dans ledit dispositif de liquéfaction. Le consommateur peut-être par exemple un moteur comprenant au moins une pile à combustible. La cuve peut former un réservoir de carburant pour le consommateur.

Selon un mode de réalisation, un écoulement du dihydrogène dans la première passe de l'échangeur thermique est orienté dans un sens opposé à un écoulement du dihydrogène dans la deuxième passe de l'échangeur thermique. Autrement dit, lorsque le dihydrogène circule dans le dispositif de liquéfaction, l'écoulement du dihydrogène dans la première passe de l'échangeur thermique s'effectue à contrecourant de l'écoulement du dihydrogène dans la deuxième passe. Ainsi, les échanges des calories entre la première passe et la deuxième passe de l'échangeur thermique sont augmentés.

Selon un mode de réalisation, un écoulement du dihydrogène dans la première passe de l'échangeur thermique est orienté dans la même direction qu'un écoulement de dihydrogène dans la troisième passe de l'échangeur thermique. Autrement dit, lorsque le dihydrogène circule dans le dispositif de liquéfaction, l'écoulement du dihydrogène dans la première passe de l'échangeur thermique est co-courant à l'écoulement du dihydrogène dans la troisième passe. Dans ce contexte, on comprend que l'écoulement de dihydrogène dans la troisième passe de l'échangeur thermique est à contrecourant de l'écoulement du dihydrogène dans la deuxième passe.

Selon un mode de réalisation, un écoulement de dihydrogène dans la quatrième passe de l'échangeur thermique est orienté dans la même direction qu'un écoulement de dihydrogène dans la troisième passe. Autrement dit, lorsque le dihydrogène circule dans le dispositif de liquéfaction, l'écoulement du dihydrogène dans la quatrième passe de l'échangeur thermique est co-courant à l'écoulement du dihydrogène dans la troisième passe. Dans ce contexte, on comprend que l'écoulement de dihydrogène dans la quatrième passe de l'échangeur thermique est à contrecourant de l'écoulement du dihydrogène dans la deuxième passe.

L'invention propose d'autre part un système de transfert pour du dihydrogène à l'état liquide, le système comportant un ouvrage présentant au moins des caractéristiques précédentes, des canalisations isolées agencées de manière à relier la cuve installée sur l'ouvrage, notamment dans la coque de l'ouvrage, à une installation de stockage flottante ou terrestre et une pompe pour entrainer un flux de produit dihydrogène froid à travers les canalisations isolées depuis ou vers l'installation de stockage flottante ou terrestre vers ou depuis la cuve de l'ouvrage.

L'invention offre en outre un procédé de chargement ou de déchargement d'un ouvrage présentant au moins une des caractéristiques précédentes, au cours duquel on achemine du dihydrogène à l'état liquide à travers des canalisations isolées depuis ou vers une installation de stockage flottante ou terrestre vers ou depuis la cuve de l'ouvrage.

L'invention propose par ailleurs un procédé de liquéfaction de dihydrogène gazeux issu de l'évaporation de dihydrogène à l'état liquide stocké dans au moins une cuve par un dispositif de liquéfaction présentant au moins une des caractéristiques précédemment décrites, le procédé comprenant au moins une étape de compression du dihydrogène gazeux, une étape d'échange de calories entre le dihydrogène gazeux comprimé et du dihydrogène gazeux soutiré de la cuve afin que le dihydrogène gazeux comprimé se liquéfie, la conversion, en présence du catalyseur, de l'isomère para en l'isomère ortho pour le dihydrogène gazeux soutiré se déroulant pendant l'étape d'échange de calories.

Selon un mode de réalisation, le procédé de liquéfaction comprend une étape de compression du dihydrogène gazeux soutiré de la cuve après l'étape d'échange de calories afin d'alimenter en dihydrogène un consommateur.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront encore au travers de la description qui suit d'une part, et de plusieurs exemples de réalisation donnés à titre indicatif et non limitatif en référence aux dessins schématiques annexés d'autre part, sur lesquels :

[fig 1] La figure 1 est une représentation schématique d'un premier mode de réalisation d'un dispositif de liquéfaction selon l'invention, le dispositif de liquéfaction étant

configuré pour liquéfier du dihydrogène gazeux issu de l'évaporation de dihydrogène à l'état liquide stocké dans au moins une cuve d'un ouvrage flottant ;

[fig 2] La figure 2 est une représentation schématique d'un deuxième mode de réalisation d'un dispositif de liquéfaction selon l'invention, le dispositif de liquéfaction étant configuré pour liquéfier du dihydrogène gazeux issu de l'évaporation de dihydrogène à l'état liquide stocké dans au moins une cuve d'un ouvrage flottant ;

[fig 3] La figure 3 est une représentation schématique écorchée de l'ouvrage flottant de transport de dihydrogène liquide de la figure 1 et d'un terminal de chargement/déchargement des cuves de l'ouvrage flottant.

Il faut tout d'abord noter que si les figures exposent l'invention de manière détaillée pour sa mise en œuvre, elles peuvent bien entendu servir à mieux définir l'invention le cas échéant. Il est également à noter que, sur l'ensemble des figures, les éléments similaires et/ou remplissant la même fonction sont indiqués par la même numérotation.

La figure 1 représente un dispositif de liquéfaction 11 de dihydrogène liquide stocké dans au moins une cuve 3, 5 d'un ouvrage flottant de transport et/ou de stockage de dihydrogène. Le dispositif de liquéfaction 11 est configuré pour coopérer les cuves 3, 5 et avec au moins un consommateur 7 de l'ouvrage flottant.

La ou les cuves 3, 5 contiennent du dihydrogène sous forme liquide 9, c'est-à-dire du dihydrogène à l'état liquide. L'isolation thermique des cuves n'étant pas parfaite, une partie dihydrogène à l'état liquide 9 s'évapore naturellement. Par conséquent, les cuves 3, 5 de l'ouvrage flottant comprennent à la fois du dihydrogène sous forme liquide 9 et du dihydrogène sous forme gazeuse 10.

Le dispositif de liquéfaction 11 assure l'alimentation du consommateur 7 en dihydrogène provenant d'au moins une des cuves 3, 5. A titre d'exemple, le consommateur 7 comprend au moins une pile à combustible, mais il peut également s'agir d'un moteur à combustion ou une turbine.

Le dispositif de liquéfaction 11 comprend au moins un échangeur thermique 13 à plusieurs passes 15, 17, 19, au moins une branche d'alimentation 21 configurée pour

amener au moins une portion du dihydrogène gazeux 10 depuis une des cuves 3, 5 jusqu'au consommateur 7 de dihydrogène gazeux et au moins une branche de refroidissement 23 configurée pour liquéfier au moins une partie du dihydrogène gazeux 10 d'une des cuves 3, 5.

Une première partie de la branche d'alimentation 21 traverse l'échangeur thermique 13 via une première passe 15 à l'intérieur de laquelle est disposé un catalyseur 151 intervenant dans la conversion de l'isomère para du dihydrogène en isomère ortho du dihydrogène. Le catalyseur 151 est choisi parmi les gels de nickel, de cuivre, de fer ou d'hydrure métallique, de films de nickel, de cuivre ou de fer, des hydroxydes de fer, de cobalt, de nickel, de chrome, de manganèse, des oxydes de fer, des complexes nickel-silicium, du charbon actif et/ou au moins une de leurs associations.

La branche d'alimentation 21 comprend au moins un dispositif de compression 27 agencé sur une deuxième partie de la branche d'alimentation 21 qui relie une sortie de la première passe 15 de l'échangeur thermique 13 au consommateur 7 de dihydrogène. Le dispositif de compression 27 est donc disposée sur la branche d'alimentation après une sortie 155 de la première passe 15, c'est-à-dire en aval de celle-ci, selon le sens de circulation du dihydrogène dans la branche d'alimentation 21.

La branche d'alimentation 21 comprend une troisième partie qui relie au moins une cuve 3, 5 de stockage de dihydrogène à une entrée 153 de la première passe 15 de manière à ce que le dihydrogène gazeux 10 retenu dans au moins une des cuves 3, 5 puisse s'écouler dans la branche d'alimentation 21 jusqu'au consommateur 7.

La troisième partie de la branche d'alimentation 21 comprend une première sous-branche 211 reliée à une première cuve 3 et une deuxième sous-branche 213 reliée à une deuxième cuve 5. La première sous-branche 211 et la deuxième sous-branche 213 se rejoignent à un point de convergence 33 de la branche d'alimentation 21 qui est reliée à l'entrée 153 de la première passe 15 de l'échangeur thermique 13 par une conduite de raccordement.

La branche d'alimentation 21 peut comprendre une vanne placée au point de convergence 33 afin de pouvoir choisir la provenance du dihydrogène gazeux c'est-à-dire

sélectionner le dihydrogène gazeux 10 de la première cuve 3 et/ou le dihydrogène gazeux 10 de la deuxième cuve 5.

Le dihydrogène gazeux 10 issu d'au moins une de ces cuves 3, 5 est mis en circulation forcée dans la branche d'alimentation 21 par le dispositif de compression 27. Le dihydrogène gazeux s'écoule alors depuis la cuve jusqu'à l'entrée 153 de la première passe 15 de l'échangeur thermique 13, puis traverse la première passe 15 de l'échangeur thermique 13.

En s'écoulant de l'entrée 153 de la première passe 15 à la sortie 155 de la première passe, le dihydrogène va échanger des calories avec une deuxième passe 17 de l'échangeur thermique 13. Le dihydrogène gazeux s'écoulant dans la première passe 15 va alors être réchauffé. A titre d'exemple, le dihydrogène gazeux présente une température de -240°C à 1,1 bars absolus à l'entrée 153 de la première passe 15 et une température de +25°C à 1,1 bar à la sortie 155 de la première passe 15.

La présence du catalyseur 151 à l'intérieur de la première passe 15 de l'échangeur thermique 13 permet d'accélérer la réaction d'isomérisation du parahydrogène en orthohydrogène, une telle réaction étant endothermique. Ainsi, le dihydrogène gazeux circulant dans la première passe 15 peut absorber encore plus de calories provenant de la deuxième passe 17 de l'échangeur thermique 13. Le transfert thermique de la deuxième passe 17 à la première passe 15 est grandement augmenté.

En référence à la figure 1, la branche de refroidissement 23 comporte au moins un organe de compression 25 de dihydrogène. Une première portion de la branche de refroidissement 23 traverse l'échangeur thermique 13 via une deuxième passe 17 disposée après l'organe de compression 25. Le dihydrogène gazeux qui circule dans la branche de refroidissement 23 est ainsi comprimé par l'organe de compression 25, avant son refroidissement au sein de la deuxième passe 17, tel que cela a été expliqué ci-dessus. Cette élévation de pression favorise la liquéfaction du dihydrogène au sein de la deuxième passe 17, et postérieurement à celle-ci.

Tel que cela est illustré sur la figure 1, mais de manière optionnelle, une deuxième portion de la branche de refroidissement 23 traverse l'échangeur thermique 13 via une

troisième passe 19. Une sortie 195 de la troisième passe 19 est reliée à l'entrée 173 de la deuxième passe 17 par une portion de liaison 231 de la branche de refroidissement 23. La portion de liaison 231 porte l'organe de compression 25.

La deuxième passe 17 de l'échangeur thermique 13 est agencée de manière à échanger des calories avec la première passe 15 et la troisième passe 19 de l'échangeur thermique 13.

Le dispositif de liquéfaction 11 comprend en outre une branche de dérivation 31 reliant le point de convergence 33 de la branche d'alimentation 21 et un point de jonction 35 agencé sur la branche de refroidissement 23. Cela permet notamment de faire circuler du dihydrogène gazeux d'une même cuve dans la branche d'alimentation 21 et dans la branche de refroidissement 23. Le point de jonction 35 est disposé avant l'organe de compression 25. Plus précisément, dans le premier mode de réalisation représenté sur la figure 1, le point de jonction est agencé avant l'entrée 193 de la troisième passe 19 de l'échangeur thermique 13.

Le dihydrogène gazeux 10 issu d'au moins une des cuves s'écoule depuis une des cuves 3, 5 jusqu'à l'entrée 193 de la troisième passe 15 de l'échangeur thermique 13 puis traverse la troisième passe 19 de l'échangeur thermique 13.

A la sortie 195 de la troisième passe 19, le dihydrogène est comprimé par l'organe de compression 25 et envoyé à l'entrée 173 de la deuxième passe de l'échangeur thermique 13. Dit autrement, La pression du dihydrogène après son passage par l'organe de compression 25 est supérieure à la pression du dihydrogène avant son passage par l'organe de compression 25.

Dans ce contexte, on comprend que l'organe de compression 25 du fait de sa fonction permet la circulation forcée du dihydrogène gazeux 10 issu d'au moins une des cuves 3, 5 dans la branche de refroidissement 23 par l'organe de compression 25.

Puis, le dihydrogène compressé s'écoule dans la deuxième passe 17 de l'échangeur thermique 13 où il cède des calories au dihydrogène s'écoulant dans la troisième passe 19 de l'échangeur thermique 13 et au dihydrogène s'écoulant dans la première passe 15 de

l'échangeur thermique 13. Le dihydrogène circulant dans la deuxième passe 17 va par conséquent changer d'état, pour au moins en partie passer à l'état liquide. Ainsi, à la sortie 175 de la deuxième passe 17 de l'échangeur thermique 13, au moins une partie du dihydrogène est liquéfié, préférentiellement tout le dihydrogène est liquéfié.

Afin d'optimiser les échanges de calories entre les passes 15, 17 de l'échangeur thermique 13, l'écoulement de dihydrogène dans la seconde passe 17 s'effectue à contre-courant de l'écoulement de dihydrogène dans la première passe 15. Pour encore améliorer le transfert thermique entre les passes 17, 19 de l'échangeur thermique 13, l'écoulement de dihydrogène dans la seconde passe 17 s'effectue à contre-courant de l'écoulement de dihydrogène dans la troisième passe 19. On comprend que le dihydrogène dans la première passe 15 s'écoule dans le même sens que le sens de circulation du dihydrogène au sein de la troisième passe 19.

A titre d'exemple, le dihydrogène présente une température de -250°C à l'entrée 193 de la troisième passe 19 de l'échangeur thermique 13 et une température de +25°C à la sortie 195 de la troisième passe 19 de l'échangeur thermique 13. L'organe de compression 25 comprime le dihydrogène à une pression comprise entre 35 et 45 bars pour une température de +43°C. Le dihydrogène présente une température de +43°C à l'entrée 173 de la deuxième passe 17 de l'échangeur thermique 13 et une température de -240°C à la sortie 175 de la deuxième passe 17 de l'échangeur thermique 13.

A la sortie 175 de la deuxième passe 17 de l'échangeur thermique 13, le dihydrogène est au moins en partie liquéfié. En d'autres mots, le dihydrogène peut présenter une phase liquide et une phase gazeuse après avoir parcouru la deuxième passe 17 de l'échangeur thermique 13. Les deux phases sont alors mélangées.

Dans le mode de réalisation représenté sur la figure 1, le dispositif de liquéfaction 11 comprend un séparateur gaz-liquide 29 agencé sur la branche de refroidissement 23. Le séparateur est agencé après la sortie 175 de la deuxième passe 17. Après être sorti de la deuxième passe 17 de l'échangeur thermique 14, le dihydrogène au moins en partie liquéfié s'écoule vers une entrée 293 du séparateur gaz-liquide 29.

Un dispositif de détente, non représenté dans ce premier mode de réalisation, peut être agencé entre la sortie 175 de la deuxième passe 17 et l'entrée 293 du séparateur gaz-liquide 29 de sorte à diminuer la pression du fluide entrant dans le séparateur gaz-liquide 29.

Une sortie de liquide 295 du séparateur gaz-liquide 29 est en communication fluidique avec au moins une des cuves 3, 5, une telle communication fluidique étant assurée par une troisième portion 41 de la conduite de refroidissement 23.

Une sortie de gaz 297 du séparateur gaz-liquide 29 est en communication fluidique avec la branche de refroidissement 23 avant une entrée 193 de la troisième passe 19 de l'échangeur thermique 13. A titre d'exemple, le dihydrogène présente une température de -254°C à la sortie de gaz 297 du séparateur gaz-liquide 29.

La communication fluidique de la sortie de gaz 297 du séparateur gaz-liquide 29 avec la branche de refroidissement 23 est assurée par une branche de liaison 299 reliant la sortie de gaz 297 du séparateur gaz-liquide 29 avec le point de jonction 35 agencé sur la branche de refroidissement 23.

Lorsque le dihydrogène circule dans le dispositif de liquéfaction 11, après être sorti de la deuxième passe 17 de l'échangeur thermique 13, le dihydrogène est envoyé dans le séparateur gaz-liquide 29 pour que la phase liquide du dihydrogène soit séparée de la phase gazeuse.

La phase liquide de dihydrogène contenu dans le séparateur gaz-liquide 29 peut être envoyée dans la phase liquide 9 du dihydrogène stocké dans une des cuves 3, 5 via la troisième portion 41 de la conduite de refroidissement 23. La phase gazeuse de dihydrogène contenu dans le séparateur gaz-liquide 29 peut être introduit dans la branche de refroidissement 23 au niveau de point de jonction 35 via la branche de liaison 299 pour y être liquéfié.

La figure 2 illustre un deuxième mode de réalisation du dispositif de liquéfaction selon l'invention. Le deuxième mode de réalisation diffère du premier mode de réalisation en ce que le point de jonction 35 est entre la sortie 195 de la troisième passe 19 et l'organe

de compression 25 sur la branche de refroidissement 23, et en ce que la branche de dérivation 31 traverse l'échangeur thermique 13 via une quatrième passe 20. Les éléments identiques sont désignés par les mêmes références. On se réfèrera à la description ci-dessus pour plus de précisions sur ces éléments identiques.

En référence à la figure 2, la quatrième passe 20 de l'échangeur thermique 13 est constitutive de la branche de dérivation 31 qui relie le point de convergence 33 et le point de jonction 35. Le point de convergence 31 est sur la branche d'alimentation 21 avant l'entrée 153 de la première passe 15.

Le point de jonction 35 est sur la branche de refroidissement 23. Le point de jonction 35 est disposé entre avant l'organe de compression 25. Tel que cela est représenté sur la figure 2, le point de jonction 35 est agencé entre la sortie 195 de la troisième passe 19 et l'entrée 173 de la deuxième passe 17, plus précisément avant une entrée de l'organe de compression 25.

La sortie de gaz 297 du séparateur gaz-liquide 29 est en communication fluidique avec l'entrée 193 de la troisième passe 19 via la branche de liaison 299. La branche de liaison 299 est, dans ce deuxième mode de réalisation constitutive de la deuxième portion de la branche de refroidissement 23. Ainsi le dihydrogène entrant dans la troisième passe 19 présente une température identique à la phase gazeuse de dihydrogène sortant du séparateur gaz-liquide 29 c'est à dire -254°C dans ce deuxième mode de réalisation.

La quatrième passe 20 de l'échangeur thermique 13 est constitutive de la branche de dérivation 31. La quatrième passe 20 est agencée de manière à échanger des calories avec la deuxième passe 17 et la troisième passe 19 de l'échangeur thermique 13. Par conséquent, la deuxième passe 17 de l'échangeur thermique 13 est disposée de manière à échanger des calories avec la première passe 15 de l'échangeur thermique 13 et la quatrième passe 20 de l'échangeur thermique 13.

En référence à la figure 2, un écoulement de dihydrogène gazeux dans la quatrième passe 20 de l'échangeur thermique 13 est orienté dans la même direction qu'un écoulement de dihydrogène gazeux dans la troisième passe 19. Autrement dit, lorsque le dihydrogène gazeux circule dans le dispositif de liquéfaction 11, l'écoulement du dihydrogène dans la

quatrième passe 20 de l'échangeur thermique 13 est co-courant à l'écoulement du dihydrogène dans la troisième passe 19. En outre, l'écoulement de dihydrogène gazeux dans la quatrième passe 20 de l'échangeur thermique 13 est à contrecourant de l'écoulement du dihydrogène dans la deuxième passe 17.

Lorsque le dispositif de liquéfaction 1 selon le deuxième mode de réalisation illustré sur la figure 2 est parcouru par du dihydrogène, le dihydrogène sort comprimé et refroidi de de la deuxième passe 17 de l'échangeur thermique 13. Ainsi, lorsque le dihydrogène de la conduite de refroidissement 23 entre dans le séparateur gaz-liquide 29, il subit une détente qui a pour conséquence de créer une phase liquide de dihydrogène et une phase gazeuse de dihydrogène dans le séparateur gaz-liquide 29.

Un dispositif de détente 28 peut, de manière optionnelle, être agencé entre la sortie 175 de la deuxième passe 17 et l'entrée 293 du séparateur gaz-liquide 29 de sorte à diminuer la pression du fluide entrant dans le séparateur gaz-liquide 29.

La phase liquide de dihydrogène dans le séparateur gaz-liquide 29 peut être renvoyée dans une des cuves 3, 5. Plus précisément, la phase liquide de dihydrogène est directement délivrée dans la phase liquide 9 contenue dans la cuve 5 via la troisième portion 41 de la conduite de refroidissement 23 qui s'étend depuis la sortie de liquide 295 du séparateur gaz-liquide 29 jusque dans la cuve 5 de sorte qu'une extrémité de la troisième portion 41 est immergée dans le dihydrogène liquide contenu dans la cuve 5.

La phase gazeuse de dihydrogène dans le séparateur gaz-liquide 29 est, quant à elle, envoyée dans la branche de refroidissement 23 en passant dans la troisième passe 19 de l'échangeur thermique 13.

Le dihydrogène à l'entrée 193 de la troisième passe 19 de l'échangeur thermique 13, qui est à l'état gazeuse en provenance du séparateur gaz-liquide 29, est plus froid que le dihydrogène à l'entrée 203 de la quatrième passe 20. Le deuxième mode de réalisation permet alors de profiter de la capacité d'absorption de calories de la phase gazeuse provenant du séparateur gaz-liquide 29 grâce à la quatrième passe 20 de l'échangeur thermique 13.

Ainsi, le dihydrogène à la sortie 195 de la troisième passe 19 est plus froid que dans le cas du premier mode de réalisation où le dispositif de liquéfaction 1 est dépourvu de quatrième passe. Le dihydrogène à l'entrée 173 de la deuxième passe 17 dans ce deuxième mode de réalisation est donc plus froid et sera donc encore plus refroidi à la sortie 175 de la deuxième passe 17 que dans le premier mode de réalisation.

Dans ce deuxième mode de réalisation, le dihydrogène étant plus froid à la sortie 175 de la deuxième passe 17 que dans le premier mode de réalisation, il crée moins de phase gazeuse dans le séparateur gaz-liquide 29. Par conséquent, la quantité de dihydrogène à recycler via la branche de liaison 299 est moindre et la consommation énergétique du dispositif de liquéfaction est diminuée comparativement au premier mode de réalisation.

En référence à la figure 3, une vue écorchée d'un ouvrage flottant 70 montre une cuve 3, 5 étanche et thermiquement isolée de forme générale prismatique montée dans une double coque 72 de l'ouvrage flottant 70, qui peut être un navire ou une plateforme flottante. Une paroi de la cuve 3, 5 comporte une barrière étanche primaire destinée à être en contact avec le dihydrogène à l'état liquide contenu dans la cuve 3, 5, une barrière étanche secondaire agencée entre la barrière étanche primaire et la double coque 72 du navire, et deux barrières thermiquement isolante agencées respectivement entre la barrière étanche primaire et la barrière étanche secondaire et entre la barrière étanche secondaire et la double coque 72. Dans une version simplifiée, l'ouvrage flottant 70 comporte une simple coque. Alternativement, les cuves de dihydrogène sont des cuves sphériques isolées sous vide.

Des canalisations de chargement/déchargement 73 disposées sur un pont supérieur de l'ouvrage flottant 70 peuvent être raccordées, au moyen de connecteurs appropriées, à un terminal maritime ou portuaire pour transférer une cargaison de dihydrogène à l'état liquide depuis ou vers la cuve 3, 5.

La figure 3 représente un exemple de terminal maritime comportant un poste de chargement et/ou de déchargement 75, une conduite sous-marine 76 et une installation à terre 77. Le poste de chargement et/ou de déchargement 75 est une installation fixe off-shore comportant un bras mobile 74 et une tour 78 qui supporte le bras mobile 74.

Le bras mobile 74 porte un faisceau de tuyaux flexibles isolés 79 pouvant se connecter aux canalisations de chargement/déchargement 73. Le bras mobile 74 est orientable et s'adapte à tous les gabarits d'ouvrage flottant 70. Une conduite de liaison non représentée s'étend à l'intérieur de la tour 78. Le poste de chargement et/ou de déchargement 75 permet le chargement et/ou le déchargement de l'ouvrage flottant 70 depuis ou vers l'installation à terre 77. Celle-ci comporte des cuves de stockage de dihydrogène à l'état liquide 80 et des conduites de liaison 81 reliées par la conduite sous-marine 76 au poste de chargement et/ou de déchargement 75. La conduite sous-marine 76 permet le transfert du dihydrogène à l'état liquide entre le poste de chargement et/ou de déchargement 75 et l'installation à terre 77 sur une grande distance, par exemple 5 km, ce qui permet de garder l'ouvrage flottant 70 à grande distance de la côte pendant les opérations de chargement et/ou de déchargement.

Pour engendrer la pression nécessaire au transfert du dihydrogène, on met en œuvre des pompes embarquées dans l'ouvrage flottant 70 et/ou des pompes équipant l'installation à terre 77 et/ou des pompes équipant le poste de chargement et de déchargement 75. Alternativement, le dihydrogène peut être déchargé par effet de pression c'est-à-dire par augmentation de pression dans la cuve 3,5. Ainsi, le déchargement du dihydrogène peut s'effectuer sans pompe.

Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits et de nombreux aménagements peuvent être apportés à ces exemples sans sortir du cadre de l'invention. Par exemple, les deux modes de réalisation dispositif de liquéfaction selon l'invention ont été décrits dans le cadre d'un ouvrage flottant. Cependant, ils peuvent être implémentés dans un ouvrage terrestre.

REVENDICATIONS

1- Dispositif de liquéfaction (11) de dihydrogène gazeux issu de l'évaporation de dihydrogène à l'état liquide (9) stocké dans au moins une cuve (3, 5), le dispositif de liquéfaction (11) comprenant au moins un échangeur thermique (13) à plusieurs passes (15, 17, 19), au moins une branche d'alimentation (21) configurée pour amener au moins une portion du dihydrogène gazeux depuis la cuve (3, 5) jusqu'à un consommateur (7) de dihydrogène gazeux, une partie de la branche d'alimentation traversant l'échangeur thermique (13) via une première passe (15) à l'intérieur de laquelle est disposé un catalyseur (151) intervenant dans la conversion de l'isomère para du dihydrogène en isomère ortho du dihydrogène, le dispositif de liquéfaction (11) comprenant au moins une branche de refroidissement (23) configurée pour liquéfier au moins une partie du dihydrogène gazeux, la branche de refroidissement (23) comportant au moins un organe de compression (25), une portion de la branche de refroidissement (23) traversant l'échangeur thermique (13) via une deuxième passe (17) disposée après l'organe de compression (25), la deuxième passe (17) échangeant des calories avec la première passe (15) afin de liquéfier au moins une partie du dihydrogène circulant dans la branche de refroidissement (23).

2- Dispositif de liquéfaction (11) selon la revendication précédente, dans lequel le catalyseur (151) est choisi parmi les gels de nickel, de cuivre, de fer ou d'hydrure métallique, de films de nickel, de cuivre ou de fer, des hydroxydes de fer, de cobalt, de nickel, de chrome, de manganèse, des oxydes de fer, des complexes nickel-silicium, du charbon actif et/ou au moins une de leurs associations.

3- Dispositif de liquéfaction (11) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la branche d'alimentation (21) comprend un dispositif de compression (27) agencé après une sortie (155) de la première passe (15).

4- Dispositif de liquéfaction (11) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel une autre portion de la branche de refroidissement (23) traverse l'échangeur thermique (13) via une troisième passe (19), une sortie (195) de la troisième passe (19) étant reliée à une entrée (173) de la deuxième passe (17) par une portion de

liaison (231) de la branche de refroidissement (23), la portion de liaison (231) comprenant l'organe de compression (25).

5- Dispositif de liquéfaction (11) selon la revendication précédente, dans lequel la deuxième passe (17) de l'échangeur thermique (13) est agencée de manière à échanger des calories avec la première passe (15) et la troisième passe (19) de l'échangeur thermique (13).

6- Dispositif de liquéfaction (11) selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant un séparateur gaz-liquide (29) agencé sur la branche de refroidissement (23) après une sortie (175) de la deuxième passe (17).

7- Dispositif de liquéfaction (11) selon la revendication précédente configuré pour mettre en communication fluidique une sortie de liquide (295) du séparateur gaz-liquide (29) avec une cuve (3, 5).

8- Dispositif de liquéfaction (11) selon l'une des revendications 6 à 7 prise en combinaison avec la revendication 4, dans lequel une sortie de gaz (297) du séparateur gaz-liquide (29) est en communication fluidique avec la branche de refroidissement (23) avant une entrée (193) de la troisième passe (19) de l'échangeur thermique (13).

9- Dispositif de liquéfaction (11) selon l'une quelconque des revendications précédentes prise en combinaison avec la revendication 4, comprenant une branche de dérivation (31) reliant un point de convergence (33) agencé sur la branche d'alimentation (21) avant une entrée (153) de la première passe (155) de l'échangeur thermique (13) et un point de jonction (35) agencé sur la branche de refroidissement (23) avant l'organe de compression (25).

10- Ouvrage (70) destiné au transport et/ou au stockage de dihydrogène à l'état liquide qui comprend au moins une cuve (3, 5) contenant du dihydrogène liquide, l'ouvrage flottant (71) comprenant au moins un consommateur (7) de dihydrogène et au moins un dispositif de liquéfaction (11) selon l'une quelconque des revendications précédentes, l'au moins un consommateur (7) étant configuré pour être alimenté en

carburant par le dihydrogène à l'état gazeux circulant au moins en partie dans ledit dispositif de liquéfaction (11).

11- Ouvrage (70) selon la revendication précédente, dans lequel un écoulement du dihydrogène dans la première passe (15) de l'échangeur thermique (13) est orienté dans un sens opposé à un écoulement du dihydrogène dans la deuxième passe (17) de l'échangeur thermique (13).

12- Ouvrage (70) selon l'une des revendication 10 à 11 prise en combinaison avec la revendication 4, dans lequel un écoulement du dihydrogène dans la première passe (15) de l'échangeur thermique (13) est orienté dans la même direction qu'un écoulement de dihydrogène dans la troisième passe (19) de l'échangeur thermique (13).

13- Système de transfert pour du dihydrogène à l'état liquide, le système comportant un ouvrage (70) selon l'une des revendications 10 à 12, des canalisations isolées (73, 79, 76, 81) agencées de manière à relier la cuve installée (3, 5) sur l'ouvrage (70) à une installation de stockage flottante ou terrestre (77) et une pompe pour entrainer un flux de produit liquide froid à travers les canalisations isolées depuis ou vers l'installation de stockage flottante ou terrestre (77) vers ou depuis la cuve (3, 5) de l'ouvrage (70).

14- Procédé de chargement ou de déchargement d'un ouvrage (70) selon l'une des revendications 10 à 12, au cours duquel on achemine du dihydrogène à l'état 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 (3, 5) de l'ouvrage (70).

15- Procédé de liquéfaction de dihydrogène gazeux issu de l'évaporation de dihydrogène à l'état liquide stocké dans au moins une cuve (3, 5) par un dispositif de liquéfaction (11) selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, le procédé comprenant une étape de compression du dihydrogène gazeux par l'organe de compression (25) et une étape d'échange de calories dans l'échangeur thermique (13) entre le dihydrogène gazeux comprimé et du dihydrogène gazeux soutiré de la cuve (3, 5), afin que le dihydrogène gazeux comprimé se liquéfie au moins en partie, la conversion, en présence du catalyseur, de l'isomère para en l'isomère ortho pour le dihydrogène gazeux soutiré se déroulant pendant l'étape d'échange de calories.

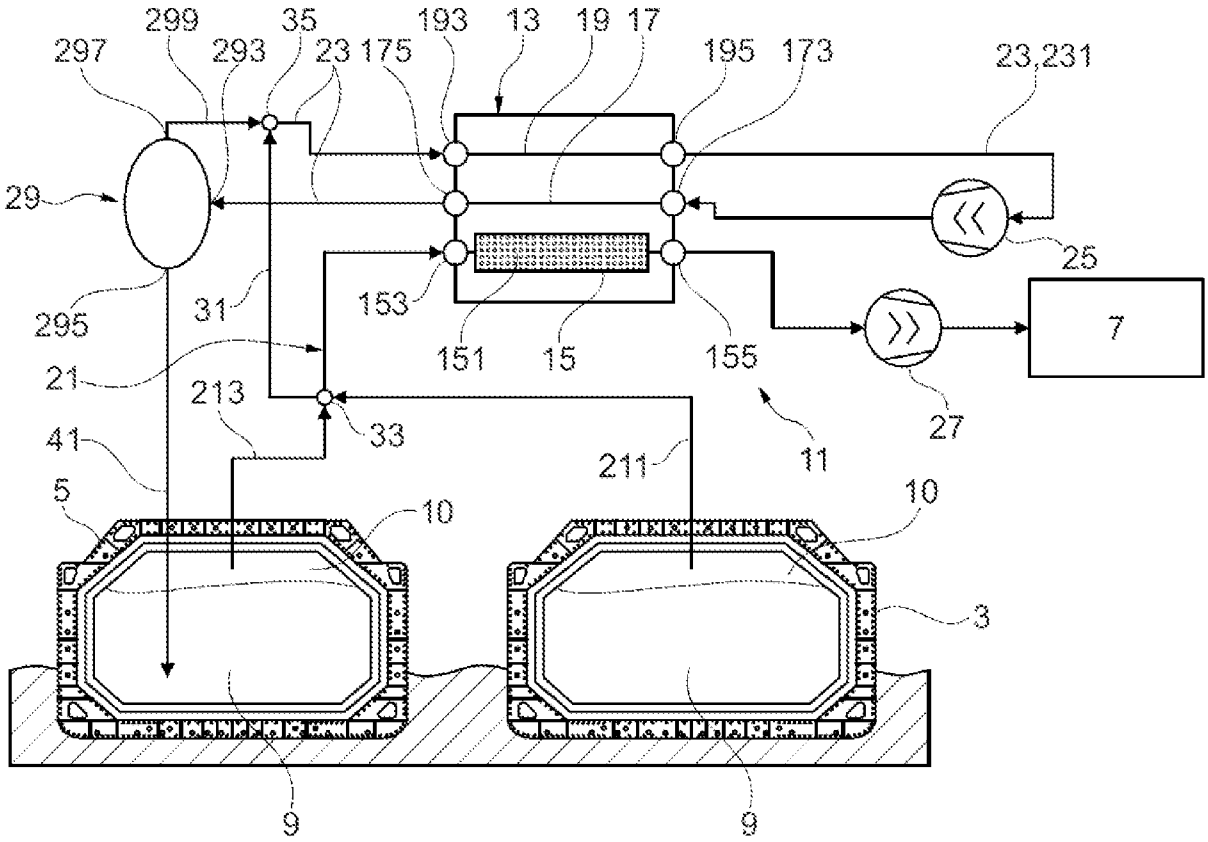

299
35
193
13
19
17
297
293
23
175
195
173
23,231
29
25
295
31
153
151
15
155
7
21
213
27
33
41
211
11
5
10
10
3
9
9

Figure 1

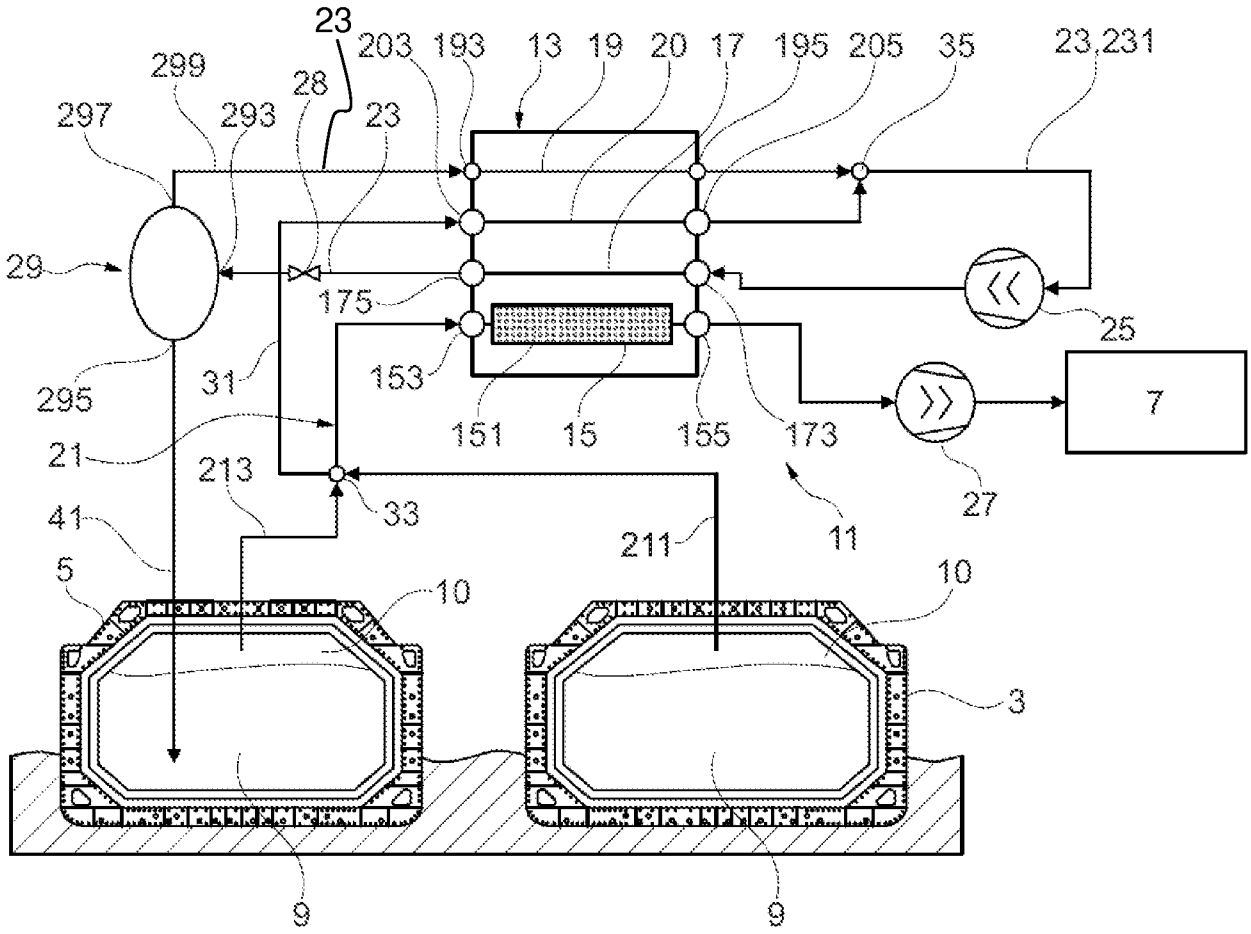

23
203
193
13
19
20
17
195
205
35
23,231
299
297
293
28
23
29
175
25
295
31
153
151
15
155
173
7
21
213
27
33
41
211
11
5
10
10
3
9
9

Figure 2

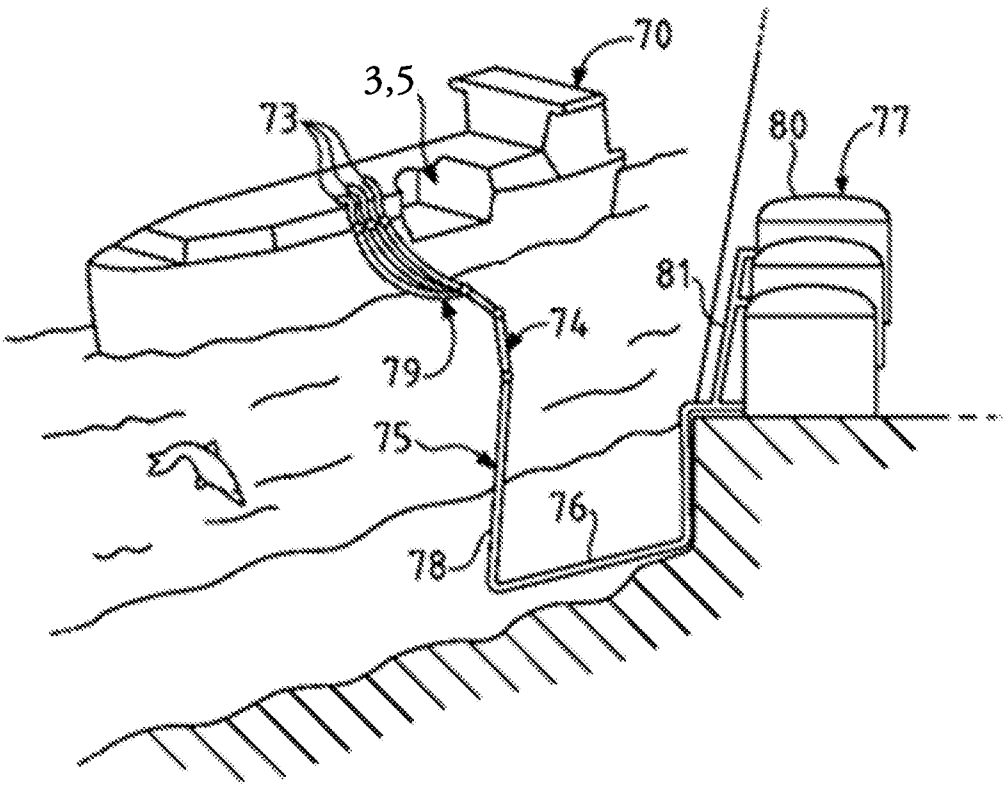


Figure 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/FR2022/050701

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F25J 1/00(2006.01)i; ***F25J 1/02***(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)

F25J

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.
Y	IWAMOTO K. "THEORETICAL CALCULATION OF THE LARGE HYDROGEN LIQUEFACTION PROCESS" *PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CRYOGENIC ENGINEERING ANDMATERIALS CONFERENCE, XX, XX,* Vol. 1, 20 May 1997 (1997-05-20), pages 155-158 XP009033479 figure 4; example Case 4	1-15
Y	US 2959020 A (HELMUT KNAPP) 08 November 1960 (1960-11-08) column 1, lines 19-24; figure 1 column 2, lines 15-43	1-15
Y	KR 102062484 B1 (KOREAN REGISTER OF SHIPPING CORP [KR]) 11 February 2020 (2020-02-11) paragraphs [0009], [0025], [34/35]; figures 1, 3	1-15
Y	JP H09291832 A (TOSHIBA CORP) 11 November 1997 (1997-11-11) abstract paragraphs [0025] - [0027], [0037] - [0039]; figure 1	1-15

☑ 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	Date of mailing of the international search report
01 August 2022	**10 August 2022**

Name and mailing address of the ISA/EP	Authorized officer
European Patent Office **p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk** **Netherlands** Telephone No. **(+31-70)340-2040** Facsimile No. **(+31-70)340-3016**	**Göritz, Dirk** Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/FR2022/050701

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	FR 2663714 A1 (AIR LIQUIDE [FR]) 27 December 1991 (1991-12-27) figure 1	1-15
Y	JP 2004210597 A (TOSHIBA CORP) 29 July 2004 (2004-07-29) figure 4	4, 5, 8, 12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/FR2022/050701

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2959020	A	08 November 1960	AT	225167	B	10 January 1963
				BE	575166	A	05 August 2022
				FR	1221045	A	30 May 1960
				GB	853089	A	02 November 1960
				NL	235432	A	05 August 2022
				US	2959020	A	08 November 1960
KR	102062484	B1	11 February 2020	NONE			
JP	H09291832	A	11 November 1997	NONE			
FR	2663714	A1	27 December 1991	CA	2044847	A1	21 December 1991
				DE	4119419	A1	02 January 1992
				FR	2663714	A1	27 December 1991
JP	2004210597	A	29 July 2004	NONE			

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/FR2022/050701

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. F25J1/00 F25J1/02
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)
F25J

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
Y	IWAMOTO K: "THEORETICAL CALCULATION OF THE LARGE HYDROGEN LIQUEFACTION PROCESS", PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CRYOGENIC ENGINEERING ANDMATERIALS CONFERENCE, XX, XX, vol. 1, 20 mai 1997 (1997-05-20), pages 155-158, XP009033479, figure 4; exemple Case 4 -----	1-15
Y	US 2 959 020 A (HELMUT KNAPP) 8 novembre 1960 (1960-11-08) colonne 1, lignes 19-24; figure 1 colonne 2, lignes 15-43 -----	1-15

-/--

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

[x] 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	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
1 août 2022	10/08/2022

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Göritz, Dirk

1

Formulaire PCT/ISA/210 (deuxième feuille) (avril 2005)

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/FR2022/050701

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	KR 102 062 484 B1 (KOREAN REGISTER OF SHIPPING CORP [KR]) 11 février 2020 (2020-02-11) alinéas [0009], [0025], [34/35]; figures 1,3	1-15
Y	JP H09 291832 A (TOSHIBA CORP) 11 novembre 1997 (1997-11-11) abrégé alinéas [0025] - [0027], [0037] - [0039]; figure 1	1-15
Y	FR 2 663 714 A1 (AIR LIQUIDE [FR]) 27 décembre 1991 (1991-12-27) figure 1	1-15
Y	JP 2004 210597 A (TOSHIBA CORP) 29 juillet 2004 (2004-07-29) figure 4	4,5,8,12

1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2022/050701

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2959020 A	08-11-1960	AT 225167 B	10-01-1963
		BE 575166 A	01-08-2022
		FR 1221045 A	30-05-1960
		GB 853089 A	02-11-1960
		NL 235432 A	01-08-2022
		US 2959020 A	08-11-1960
KR 102062484 B1	11-02-2020	AUCUN	
JP H09291832 A	11-11-1997	AUCUN	
FR 2663714 A1	27-12-1991	CA 2044847 A1	21-12-1991
		DE 4119419 A1	02-01-1992
		FR 2663714 A1	27-12-1991
JP 2004210597 A	29-07-2004	AUCUN	