



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

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2024/068530

(22) Date de dépôt international :
02 juillet 2024 (02.07.2024)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
FR2307055 03 juillet 2023 (03.07.2023) 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 : KHALIL-PAILLIER, Yasmin ; c/o AIR
LIQUIDE GLOBAL E&C SOLUTIONS FRANCE, 57
avenue Carnot, 94503 CHAMPIGNY-SUR-MARNE (FR).

LE LARGE, Dominique ; c/o AIR LIQUIDE GLO-
BAL E&C SOLUTIONS FRANCE, 57 avenue Car-
not, 94503 CHAMPIGNY-SUR-MARNE (FR). SZAM-
LEWSKI, Christophe ; c/o AIR LIQUIDE GLOBAL
E&C SOLUTIONS FRANCE, 57 avenue Carnot, 94503
CHAMPIGNY-SUR-MARNE (FR).

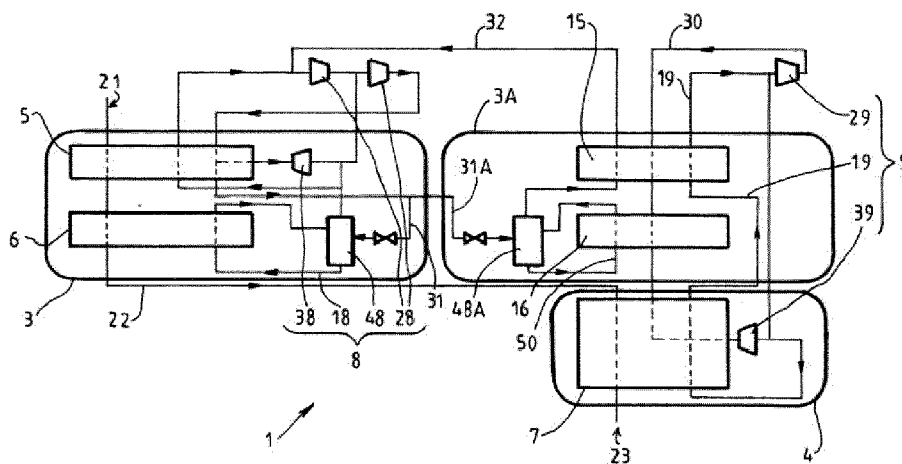
(74) Mandataire : AIR LIQUIDE ; Direction de la Propriété
Intellectuelle, 75, Quai d'Orsay, 75321 PARIS CEDEX 07
(FR).

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,
KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA,
NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO,
RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH,

(54) Title: INSTALLATION AND METHOD FOR PRODUCING A CRYOGENIC FLUID

(54) Titre : INSTALLATION ET PROCÉDÉ DE PRODUCTION D'UN FLUIDE CRYOGÉNIQUE

[Fig. 1]



(57) Abstract: An installation for producing a cryogenic fluid comprises, arranged in at least one cold box (3, 4), a set of heat exchangers (5, 6, 7) in a heat-exchange relationship with the hydrogen circuit (2) for the hydrogen that is to be cooled, the installation (1) comprising a pre-cooling device (8) configured to pre-cool the gas circuit (2) for the gas that is to be cooled to a first determined temperature, the device comprising two thermosiphons (42, 42A) connected in parallel and arranged in two different cold boxes (3, 3A).

(57) Abrégé : Une installation de production d'un fluide cryogénique comprend, disposés dans au moins une boîte froide (3, 4), un ensemble d'échangeurs (5, 6, 7) de chaleur en échange thermique avec le circuit (2) d'hydrogène à refroidir, l'installation (1) comprenant un dispositif (8) de pré-refroidissement configuré pour pré-refroidir le circuit (2) de gaz à refroidir à une première température déterminée, le dispositif comprenant deux thermosiphons (42, 42A) connectés en parallèle disposés en deux boîtes froides différentes (3, 3A).



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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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))*

Description

Titre de l'invention : Installation et procédé de production d'un fluide cryogénique

[0001] L'invention concerne une installation et un procédé de production d'un fluide cryogénique.

[0002] L'invention concerne plus particulièrement une installation de production d'un fluide refroidi, voire cryogénique, en particulier de l'hydrogène liquéfié. De telles installations comprennent habituellement un circuit de gaz à refroidir ayant une extrémité amont destinée à être reliée à une source de gaz et une extrémité aval destinée à être reliée à au moins un système receveur, par exemple un stockage cryogénique, l'installation comprenant, disposés dans au moins une boîte froide, un ensemble d'échangeurs de chaleur en échange thermique avec le circuit d'hydrogène à refroidir, l'installation comprenant un dispositif de pré-refroidissement en échange thermique avec au moins une première partie de l'ensemble d'échangeurs de chaleur et configuré pour pré-refroidir le circuit de gaz à refroidir à une première température déterminée, l'installation comprenant en outre un dispositif de refroidissement cryogénique en échange thermique avec au moins une seconde partie de l'ensemble d'échangeur(s) de chaleur et configuré pour refroidir le circuit de gaz à refroidir à une seconde température déterminée inférieure à la première température, le dispositif de pré-refroidissement comprenant un réfrigérateur à circuit fermé de fluide de pré-refroidissement, le circuit fermé comprenant un dispositif de compression du fluide de pré-refroidissement, un dispositif de détente du fluide de pré-refroidissement, au moins un thermosiphon du fluide de pré-refroidissement, ledit circuit comprenant une ou des portions d'échange thermique avec au moins un de la première partie de l'ensemble d'échangeur(s) de chaleur, le dispositif de refroidissement cryogénique comprenant un réfrigérateur à cycle de réfrigération d'un gaz de cycle dans un circuit de travail, le gaz de cycle comprenant au moins l'un parmi: de l'hydrogène, de l'hélium, du néon, le circuit de travail du réfrigérateur comprenant un organe de compression du gaz de cycle, un organe de refroidissement du gaz de cycle comprimé, un organe de détente du gaz de cycle comprimé et refroidi et un organe de réchauffage du gaz de cycle détendu.

[0003] Les procédés de liquéfaction d'hydrogène sont divisés en deux parties successives: 1) le pré-refroidissement et 2) le refroidissement assurant la liquéfaction. Le pré-refroidissement peut être réalisé avec un dispositif de pré-refroidissement utilisant par exemple un cycle azote (ou autre fluide de pré-refroidissement) dans une boîte froide.

L'optimisation du cycle azote est un compromis entre la compacité de la boîte froide et la performance (puissance consommée).

- [0004] Le pré-refroidissement est réalisé généralement via un dispositif de pré-refroidissement utilisant une boucle de fluide de pré-refroidissement fermée produisant du froid via un cycle thermodynamique approprié. Le froid est produit par exemple par des turbines de détente du flux du fluide de pré-refroidissement. L'hydrogène à refroidir est sous-refroidi dans le dernier échangeur de pré-refroidissement dont la température au bout froid est efficacement régulée grâce à un thermosiphon du fluide de pré-refroidissement. Le fluide du cycle de liquéfaction qui assure la liquéfaction est également pré refroidi dans l'échangeur principal du pré-refroidissement.
- [0005] Cette solution connue nécessite de prévoir une seule boîte froide de pré-refroidissement volumineuse. De plus, l'efficacité énergétique n'est pas optimale.
- [0006] « Large scale hydrogen liquefaction in combination with LNG re-gasification » de Kuendig et al, WHEC 2006, pp3326-3333 décrit un appareil de liquéfaction avec deux boîtes froides, dont une première boîte froide contenant un cycle d'azote et des échangeurs pour refroidir l'hydrogène utilisant le cycle d'azote et une deuxième boîte froide contenant un cycle hydrogène et des échangeurs pour refroidir l'hydrogène utilisant le cycle d'hydrogène.
- [0007] Un but de la présente invention est de pallier tout ou partie des inconvénients de l'art antérieur relevés ci-dessus. En particulier l'invention vise à disposer dans une boîte froide les éléments standardisés de l'installation, laissant dans une autre boîte froide les éléments nécessitant d'être adaptés pour convenir aux besoins de chaque client.
- [0008] Ainsi un circuit de réfrigération ainsi que l'échangeur et le thermosiphon qui y sont associés sont disposés dans une boîte froide à part.
- [0009] A cette fin, l'installation selon l'invention est une installation de production d'un fluide refroidi, voire cryogénique, en particulier de l'hydrogène liquéfié, comprenant un circuit de gaz à refroidir ayant une extrémité amont destinée à être reliée à une source de gaz et une extrémité aval destinée à être reliée à au moins un système receveur, par exemple un stockage cryogénique, l'installation comprenant un premier ensemble d'échangeurs de chaleur en échange thermique avec le circuit de gaz à refroidir, l'installation comprenant un dispositif de pré-refroidissement en échange thermique avec au moins une première partie du premier ensemble d'échangeurs de chaleur et configuré pour pré-refroidir le circuit de gaz à refroidir jusqu'à une première température déterminée, l'installation comprenant éventuellement en outre un dispositif de refroidissement cryogénique en échange thermique avec au moins une seconde partie du premier ensemble d'échangeur(s) de chaleur et configuré pour refroidir le circuit de gaz à refroidir jusqu'à une seconde température déterminée inférieure à la première température, le dispositif de pré-refroidissement

comprenant un réfrigérateur à circuit fermé de fluide de pré-refroidissement, le circuit comportant un dispositif de compression du fluide de pré-refroidissement, un dispositif de détente du fluide de pré-refroidissement, au moins un premier et un deuxième thermosiphons distincts du fluide de pré-refroidissement disposés en parallèle dans le circuit de fluide de pré-refroidissement, ledit circuit comprenant une ou des portions d'échange thermique avec au moins un de la première partie de l'ensemble d'échangeur(s) de chaleur, un réfrigérateur à cycle de réfrigération d'un gaz de cycle dans un circuit de travail, le gaz de cycle comprenant au moins l'un parmi: de l'hydrogène, de l'hélium, du néon, le circuit de travail du réfrigérateur comprenant un organe de compression du gaz de cycle, un organe de refroidissement du gaz de cycle comprimé, un organe de détente du gaz de cycle comprimé et refroidi et un organe de réchauffage du gaz de cycle détendu, dans lequel l'organe de refroidissement du gaz de cycle et/ou l'organe de réchauffage du gaz de cycle comprend un ou des premiers échangeurs de chaleur de cycle, distinct(s) du premier ensemble d'échangeurs de chaleur de pré-refroidissement du circuit de gaz à refroidir, ces premiers échangeurs de chaleur de cycle étant également refroidi(s) par échange thermique avec le circuit du fluide de pré-refroidissement du dispositif de pré-refroidissement, une première boîte froide contenant au moins un échangeur de chaleur de la première partie de l'ensemble d'échangeur(s) de chaleur, dont un échangeur de chaleur en échange thermique avec un flux de fluide de pré-refroidissement du circuit sortant du premier thermosiphon, le premier thermosiphon et le dispositif de détente du fluide de pré-refroidissement, une deuxième boîte froide contenant le deuxième thermosiphon, l'organe de refroidissement du gaz de cycle comprimé dont l'au moins un premier échangeur de chaleur en échange thermique avec un flux de fluide de pré-refroidissement du circuit sortant du deuxième thermosiphon, l'organe de détente du gaz de cycle comprimé et refroidi et l'organe de réchauffage du gaz de cycle détendu.

[0010] Selon d'autres objets facultatifs de l'invention :

- la première et/ou la deuxième boîte froide est isolée thermiquement au moyen d'un isolant pulvérulent, par exemple la perlite.
- l'installation comprend un dispositif de refroidissement cryogénique en échange thermique avec au moins une seconde partie du premier ensemble d'échangeur(s) de chaleur et configuré pour refroidir le circuit de gaz à refroidir jusqu'à une seconde température déterminée inférieure à la première température, le dispositif de refroidissement cryogénique se trouvant dans une troisième boîte froide isolée thermiquement sous vide.
- l'installation comprend des moyens pour épurer le gaz à refroidir refroidi, ces moyens se trouvant en dans la deuxième boîte froide, des moyens pour envoyer du gaz à refroidir refroidi dans un échangeur de chaleur dans la

première boîte froide aux moyens pour épurer l'hydrogène, des moyens pour envoyer le gaz à refroidir épuré dans les moyens pour épurer à un échangeur de chaleur de la première boîte pour s'y refroidir.

- l'installation comprend au moins un catalyseur dans la première boîte froide
- les moyens pour épurer le gaz à refroidir sont reliés à l'au moins un catalyseur pour y envoyer le gaz à refroidir épuré.
- la première boîte froide ne contient pas de moyens pour épurer le gaz à refroidir.
- la première boîte froide contient des moyens pour épurer le gaz à refroidir, par exemple l'hydrogène.
- la deuxième boîte froide ne contient pas de moyens pour épurer le gaz à refroidir, par exemple l'hydrogène.
- les moyens pour épurer le gaz à refroidir comprenant des lits d'adsorbants
- la seconde partie de l'ensemble d'échangeur(s) de chaleur comprend au moins un second échangeur de chaleur de cycle assurant un échange thermique entre le circuit de gaz à refroidir et le circuit de travail du dispositif de refroidissement cryogénique.
- le second échangeur de chaleur de cycle est en échange thermique avec une première portion du circuit de travail du dispositif véhiculant du gaz de cycle avant passage dans un organe de détente et avec une seconde portion du circuit de travail du dispositif véhiculant du gaz de cycle après passage dans ledit organe de détente.
- le second échangeur de chaleur de cycle est situé dans une troisième boîte froide distincte des première et deuxième boîtes froides.
- le fluide de pré-refroidissement comprend ou est constitué d'au moins un composant choisi dans le groupe : de l'azote, de l'argon, au moins un hydrocarbure choisi dans la liste méthane, éthane, éthylène, propane, propylène, butane, butène, pentane.
- le circuit de réfrigération comprend au moins un organe de détente permettant aux premier et deuxième thermosiphons de fonctionner à des pressions différentes.

[0011] Selon un autre objet de l'invention, il est prévu un procédé de production d'un fluide refroidi, voire cryogénique, en particulier de l'hydrogène liquéfié, utilisant une installation telle que décrite précédemment, le procédé comprenant une étape de pré-refroidissement du flux de circuit de gaz à refroidir à une première température comprise entre 65 et 100K et préférentiellement entre 77 et 90K, au moyen du dispositif de pré-refroidissement, une étape de pré-refroidissement du fluide de cycle via le dispositif de pré-refroidissement jusqu'à une température comprise

entre 77 et 90K, et éventuellement une étape de refroidissement du gaz de circuit de gaz à refroidir à une seconde température déterminée comprise entre 18 et 25K et préférentiellement entre 20 et 23K via le dispositif (de refroidissement cryogénique.

[0012] Selon d'autres caractéristiques facultatives :

- au moins un échangeur de chaleur de cycle et/ou au moins un échangeur(s) de chaleur configuré(s) pour pré-refroidir le circuit de gaz à refroidir à une première température déterminée est en échange thermique avec un flux de fluide de pré-refroidissement du circuit sortant d'un des thermosiphons, au moins un thermosiphon fonctionnant à une pression entre 1,5 et 3,5 bara et à une température correspondante comprise entre 80,8K et 89,6K.
- le gaz à refroidir est épuré par adsorption à une température subambiante uniquement dans la première boîte froide ou uniquement dans la deuxième boîte froide

[0013] Il sera compris qu'un circuit fermé peut comprendre des moyens de rajout de réfrigérant et/ou des moyens de prélèvement de réfrigérant pour alimenter et/ou délester le circuit.

[0014] L'invention peut concerner également tout dispositif ou procédé alternatif comprenant toute combinaison des caractéristiques ci-dessus ou ci-dessous dans le cadre des revendications.

[0015] D'autres particularités et avantages apparaîtront à la lecture de la description ci-après, faite en référence aux figures dans lesquelles :

Brève description des figures

[0016] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés dans lesquels :

[0017] [fig.1] est une vue schématique et partielle illustrant un exemple de structure et de fonctionnement d'un exemple d'installation;

[0018] [fig.2] est une vue schématique et partielle illustrant un exemple de structure et de fonctionnement d'un exemple d'installation

[0019] [fig.3] est une vue schématique et partielle illustrant un exemple de structure et de fonctionnement d'un exemple d'installation qui est une variante de la [fig.2].

Description détaillée

[0020] Sur toutes les figures, les mêmes références se rapportent aux mêmes éléments.

[0021] Dans cette description détaillée, les réalisations suivantes sont des exemples. Bien que la description se réfère à un ou plusieurs modes de réalisation, cela ne signifie pas que les caractéristiques s'appliquent seulement à un seul mode de réalisation. De simples caractéristiques de différents modes de réalisation peuvent également être

combinées et/ou interchangées pour fournir d'autres réalisations dans le cadre des revendications.

- [0022] L'installation 1 de production d'un fluide cryogénique illustrée schématiquement à la [fig.1] comprend un circuit 2 de gaz à refroidir/liquéfier, en particulier de l'hydrogène. Ce circuit 2 de gaz à refroidir possède une extrémité amont 21 destinée à être reliée à une source de gaz et une extrémité aval 22 destinée à être reliée à au moins un système receveur, par exemple un stockage cryogénique de gaz liquéfié.
- [0023] L'installation 1 comprend, disposés dans au moins une boîte froide 3, 4, un ensemble d'échangeurs 5, 6, 7 de chaleur en échange thermique avec le circuit 2 d'hydrogène à refroidir.
- [0024] L'installation 1 comprend un dispositif 8 de pré-refroidissement en échange thermique avec au moins une première partie 5, 6 de l'ensemble d'échangeurs de chaleur (ou échangeurs 5, 6 de pré-refroidissement du circuit 2 de gaz à refroidir). Le dispositif 8 de pré-refroidissement est configuré pour refroidir le circuit 2 de gaz à refroidir à une première température déterminée, par exemple entre 65 et 100K et préférentiellement entre 77 et 90K.
- [0025] L'installation 1 comprend en outre un dispositif 9 de refroidissement cryogénique en échange thermique avec au moins une seconde partie 7 de l'ensemble d'échangeurs de chaleur (plus en aval). Le dispositif 9 de refroidissement est configuré pour refroidir le circuit 2 de gaz à refroidir de la première température à une à une seconde température déterminée inférieure à la première température, par exemple entre 18 et 25K et préférentiellement entre 20 et 23K.
- [0026] Comme illustré, cette seconde partie 7 de l'ensemble d'échangeur(s) de chaleur comprend au moins un second échangeur de chaleur 7 de cycle assurant un échange thermique entre le circuit 2 d'hydrogène à refroidir et le circuit 19 de travail d'un dispositif 9 de refroidissement cryogénique décrit ci-après.
- [0027] Le dispositif 8 de pré-refroidissement comprend un réfrigérateur à circuit 18 fermée de fluide de pré-refroidissement, par exemple de l'azote, un mélange de fluides réfrigérants (MRC) composé des composants proposés par exemple dans la thèse doctorale de Songwut Krasae-in "Efficient Hydrogen Liquefaction Processes" ISBN978-82-471-1869-6.r, page 43 et 44) ou dans EP-A-3368630. Le circuit 18 comporte, disposés en série et/ou en parallèle, un dispositif 28 de compression du fluide de pré-refroidissement (un ou plusieurs compresseurs en série et/ou en parallèle), un dispositif de détente 38 du fluide de pré-refroidissement (une ou plusieurs turbines ou vannes en série et/ou en parallèle), au moins un thermosiphon 48 du fluide de pré-refroidissement.

- [0028] Le circuit 18 comprend une ou des portions d'échange thermique avec au moins un échangeur de chaleur de la première partie 5, 6 de l'ensemble d'échangeur(s) de chaleur.
- [0029] Ainsi, le fluide de pré-refroidissement subit un cycle de compression-refroidissement-détente-réchauffage dans le circuit 18 qui produit une puissance froide à au moins une extrémité du circuit qui est mise en échange thermique avec le circuit 2 de gaz à refroidir.
- [0030] En particulier, le circuit 2 de gaz à refroidir est pré-refroidi dans au moins un dernier échangeur 6 (dernier de l'amont vers l'aval) dont la température au bout froid peut être efficacement régulée grâce à un flux de fluide de pré-refroidissement généré par un thermosiphon 48.
- [0031] Le thermosiphon 48 est un système de circulation des fluides (gaz et/ou liquide) basé sur la dilatation-contraction et la poussée d'Archimède, la circulation étant assurée par des différences de température entre les différents flux de fluide entrant/sortant.
- [0032] Le thermosiphon 48 comprend par exemple au moins une entrée et une sortie raccordées à une boucle du circuit 18 de fluide de pré-refroidissement en échange thermique avec au moins un échangeur de chaleur 6 de pré-refroidissement du circuit 2 de gaz à refroidir. Le thermosiphon 48 comprend par exemple une entrée inférieure de fluide, une chambre interne de chauffage du fluide, un conduit vertical (cheminée) positionné en haut de cette chambre et une sortie du fluide verticale par rapport à l'axe de l'entrée.
- [0033] Le dispositif 9 de refroidissement cryogénique comprend quant à lui un réfrigérateur à cycle de réfrigération d'un gaz de cycle dans un circuit 19 de travail. Le gaz de cycle comprend de préférence au moins l'un parmi: de l'hydrogène, de l'hélium, du néon.
- [0034] Le circuit 19 de travail du réfrigérateur 9 est de préférence fermé et comprend un organe 29 de compression du gaz de cycle (un ou plusieurs compresseurs en série et/ou en parallèle), un organe 15, 16, 7 de refroidissement du gaz de cycle comprimé (un ou plusieurs échangeurs de chaleurs), un organe 39 de détente du gaz de cycle comprimé et refroidi (une ou plusieurs turbines ou vannes en série et/ou en parallèle) et un organe 7, 15 de réchauffage du gaz de cycle détendu (un ou plusieurs compresseurs en série et/ou en parallèle).
- [0035] Ainsi, le fluide de travail subit un cycle de compression-refroidissement-détente-réchauffage qui produit une puissance froide à au moins une extrémité du circuit 19 qui est mise en échange thermique avec le circuit 2 de gaz à refroidir en vue de le liquéfier.
- [0036] Comme illustré, l'organe 15, 16, 7 de refroidissement du gaz de cycle et l'organe 7, 15 de réchauffage du gaz de cycle peuvent comprendre un ou des échangeurs de chaleur, de préférence à contre-courant et assurant un échange thermique entre des

flux relativement froid et chauds (pour assurer respectivement leur réchauffage et refroidissement)

- [0037] En particulier, pour le pré-refroidissement du gaz de cycle et/ou le réchauffage du gaz de cycle, le réfrigérateur 9 comprend un ou de premiers échangeurs de chaleur 15, 16 de cycle qui sont distincts de la première partie d'échangeurs de chaleur 5, 6 configuré(s) pour pré-refroidir le circuit 2 de gaz à refroidir.
- [0038] De plus, ces premiers échangeurs 15, 16 de chaleur de cycle sont refroidis par échange thermique avec le circuit 18 du fluide de pré-refroidissement du dispositif 8 de pré-refroidissement.
- [0039] C'est-à-dire que le pré-refroidissement du circuit 2 de gaz à refroidir (par exemple l'hydrogène) et le pré-refroidissement du gaz de cycle (par exemple à base d'hélium) sont réalisés par le circuit de fluide de pré-refroidissement (par exemple à base d'azote) dans des échangeurs distincts séparés.
- [0040] Le fluide de travail du cycle du réfrigérateur 9 est pré refroidi dans au moins un premier échangeur de chaleur 15, 16 de cycle dédié qui n'échange pas avec le circuit 2 de fluide à refroidir.
- [0041] De plus, ce gaz de cycle peut être pré-refroidi dans un échangeur 16 de chaleur dont la température au bout froid peut être efficacement régulée par un flux de fluide de pré-refroidissement généré par un thermosiphon 48A distinct du thermosiphon 48 décrit précédemment qui assure le pré-refroidissement du circuit 2 de gaz.
- [0042] Ainsi, et comme représenté, le thermosiphon 48A associé à un premier échangeur de chaleur 15, 16 de cycle et le thermosiphon 48 associé à au moins un échangeur de pré-refroidissement du circuit 2 de gaz à refroidir sont être distincts et disposés en parallèle dans le circuit 18 de fluide de pré-refroidissement.
- [0043] Le thermosiphon 48A est un système de circulation des fluides (gaz et/ou liquide) basé sur la dilatation-contraction et la poussée d'Archimède, la circulation étant assurée par des différences de température entre les différents flux de fluide entrant/sortant.
- [0044] Le thermosiphon 48A comprend par exemple au moins une entrée et une sortie raccordées à une boucle du circuit 18 de fluide de pré-refroidissement en échange thermique avec au moins un échangeur de chaleur 6 de pré-refroidissement du circuit 2 de gaz à refroidir. Le thermosiphon 48 comprend par exemple une entrée inférieure de fluide, une chambre interne de chauffage du fluide, un conduit vertical (cheminée) positionné en haut de cette chambre et une sortie du fluide verticale par rapport à l'axe de l'entrée.
- [0045] Le thermosiphon 48A est alimenté à travers une vanne ce qui permet que la pression de fonctionnement du thermosiphon 48A soit plus basse que celle du thermosiphon 48. Ceci permet d'égaliser la perte de charge dans le circuit allant vers le thermosiphon 48 et dans le circuit allant vers le thermosiphon 48A.

- [0046] Ainsi, le pré-refroidissement du gaz de cycle du réfrigérateur 9 par le fluide de pré-refroidissement dans un échangeur de chaleur dédié (distinct du pré-refroidissement du circuit 2 à refroidir) permet de maximiser le pré-refroidissement du circuit 2 d'hydrogène à refroidir et le pré-refroidissement du gaz de cycle du réfrigérateur 9.
- [0047] Comme illustré, après sa détente et son échange thermique avec la circuit 2 de gaz à refroidir, le gaz de cycle du réfrigérateur 9 peut, en retournant vers la compression 29, céder des frigories au fluide de pré-refroidissement dans un échangeur 15 de chaleur (avant retour à la compression 28).
- [0048] Les thermosiphons 48, 48A peuvent comporter au moins une entrée et au moins deux sorties, les deux sorties étant raccordées à deux portions distinctes du circuit 18 de fluide de pré-refroidissement en échange thermique avec le ou échangeurs de chaleur 5, 6, 15, 16 concernés.
- [0049] Le thermosiphon 48A du fluide de pré-refroidissement a au moins une entrée et une sortie raccordées à une boucle du circuit 18 de fluide de pré-refroidissement en échange thermique avec au moins un premier échangeur de chaleur 15, 16 de cycle.
- [0050] C'est-à-dire que le ou les premiers échangeurs de chaleur 15, 16 de cycle comprennent au moins un échangeur de chaleur en échange thermique avec un flux de fluide de pré-refroidissement du circuit 18 sortant d'un thermosiphon 48A.
- [0051] Le thermosiphon 48A relié à au moins un échangeur 16 permet de réguler efficacement la température du fluide de cycle du réfrigérateur 9.
- [0052] Le liquide de pré-refroidissement est produit par le dispositif 8 de pré-refroidissement. Le fluide de pré-refroidissement liquide peut être détendu dans une turbine 38 ou une vanne avant d'être envoyé vers les thermosiphons 48, 48A. Les pressions au sein des thermosiphons 48, 48A peuvent être différentes. Les fluides de pré-refroidissement à basse pression produits par les thermosiphons 48, 48A et par le dispositif de détente 38 peuvent être mis en échange thermique avec tout ou partie des échangeurs de chaleur (échangeurs de chaleur 5, 6 de pré-refroidissement du circuit 2 d'une part et, les échangeurs de chaleurs 15, 16 du circuit du réfrigérateur 9 d'autre part). Ce ou ces flux de fluide de refroidissement relativement froid cède(nt) des frigories respectivement aux échangeurs concernés pour refroidir le gaz 2 à refroidir et le gaz de cycle. Le fluide de refroidissement ainsi réchauffé est renvoyé à l'entrée du/des même(s) compresseur(s) 28 du dispositif 8 de pré-refroidissement et un nouveau cycle peut recommencer.
- [0053] Cette configuration avec des échangeurs dissociés dans des boîtes froides séparées pour respectivement le pré-refroidissement du circuit 2 de gaz à refroidir et pour le pré-refroidissement du circuit 19 du gaz de travail (avec des flux de pré-refroidissement dissociés respectifs) permet d'utiliser dans une boîte froide 3 des échangeurs de taille relativement plus petite que dans l'art antérieur. De plus, cette distribution séparée de

puissance froide du dispositif 8 de pré-refroidissement au circuit 2 de gaz à refroidir et au fluide de cycle du réfrigérateur 9 augmente l'efficacité globale de l'installation.

[0054] L'utilisation d'un thermosiphon 48A pour le pré-refroidissement du gaz de cycle du réfrigérateur 9 permet de pré-refroidir à une température plus basse le gaz de cycle du réfrigérateur 9. Ceci permet de diminuer la consommation d'énergie pour la liquéfaction du gaz à refroidir du circuit 2 dans la boîte froide 4. La température peut être plus basse car la température du fluide de pré-refroidissement liquide est maîtrisée par la pression au sein des thermosiphons 48, 48A. De plus, l'échange thermique peut être plus important dans les échangeurs dédiés 6, 16.

[0055] Le thermosiphon 48 et/ou 48A fonctionne à une pression entre 1,5 et 3,5 bara et à une température correspondante comprise entre 80,8K et 89,6K. De préférence le thermosiphon 48A fonctionne à une pression plus basse que le thermosiphon 48. Une vanne en amont d'au moins un thermosiphon 48, 48A permet de régler les pressions indépendamment.

[0056] Comme illustré, le ou les échangeur(s) de chaleur 5, 6 configuré(s) de pré-refroidissement du circuit 2 de gaz à refroidir, et seulement une partie 38, 48 du dispositif (8) de pré-refroidissement (éléments froids : turbine(s), thermosiphon, conduites froides, vanne(s) froides...) sont disposés dans une même première boîte froide 3 de pré-refroidissement.

[0057] Cette première boîte froide 3 est de préférence isolée thermiquement sous vide et/ou isolée thermiquement via de la perlite (ou autre isolant) et balayée d'un gaz tel que l'azote par exemple.

[0058] Le ou les premiers échangeurs 15, 16 de chaleur de cycle, le deuxième thermosiphon 48A et seulement une partie 38 du dispositif 8 de pré-refroidissement (éléments froids : turbine(s), conduites froides, vanne(s) froides...) sont disposés dans une deuxième boîte froide 3A de pré-refroidissement.

[0059] Cette deuxième boîte froide 3A est de préférence isolée thermiquement sous vide ou isolée thermiquement via de la perlite (ou autre isolant) et balayée d'un gaz tel que l'azote par exemple.

[0060] Le (ou les) second(s) échangeur(s) 7 de chaleur de cycle qui sont prévus pour liquéfier le gaz du circuit 2 de gaz à refroidir sont situés de préférence dans une troisième boîte froide 4 distincte de la première boîte froide 3 et de la deuxième boîte froide 3A (isolée thermiquement sous vide ou autre). Cette troisième boîte froide 4 contient également de préférence les composants cryogéniques associés (turbine, vanne(s)...).

[0061] Comme illustré, le dernier second échangeur 7 de chaleur de cycle est en échange thermique avec une première portion du circuit 19 de travail du dispositif 9 véhiculant du gaz de cycle avant passage dans un organe 39 de détente (turbine(s) 39) et avec une

seconde portion du circuit 19 de travail du dispositif 9 véhiculant du gaz de cycle après passage dans ledit organe 39 de détente. C'est-à-dire que l'échangeur 7 de cycle peut comporter des passages multiples du circuit 19 de travail du réfrigérateur 9.

- [0062] L'installation comprend de préférence des moyens pour épurer l'hydrogène refroidi, ces moyens se trouvant en dans la deuxième boîte froide 3A. Ces moyens servent à enlever l'eau et/ou le dioxyde de carbone et/ou l'azote contenu dans l'hydrogène refroidi. L'hydrogène se refroidit dans la première boîte froide 3 et ensuite est ensuite à la deuxième boîte froide 3A pour être épuré par les moyens d'épuration P. L'hydrogène épuré est ensuite de nouveau refroidi dans un échangeur de chaleur de la première boîte.
- [0063] La première boîte froide 3 peut contenir au moins un catalyseur dans la première boîte froide, l'hydrogène épuré dans la deuxième boîte froide 3A étant envoyé au catalyseur de la première boîte froide.
- [0064] La première boîte froide 3 de préférence ne contient pas de moyens pour épurer l'hydrogène.
- [0065] De cette façon, la première boîte froide 3 peut avoir des dimensions standardisées alors que la deuxième boîte froide 3A contient tous les équipements dont les dimensions évoluent selon la composition du débit d'alimentation à liquéfier
- [0066] Il sera noté que l'installation peut comprendre uniquement les boîtes froides 3, 3A, la boîte froide 4 étant rajoutée à une étape ultérieure de la fabrication de l'installation.
- [0067] La [fig.2] montre de manière plus détaillée les boîtes froides 3, 3A. Le débit d'hydrogène 21 contenant des impuretés susceptibles de liquéfier voire solidifier dans la boîte froide 4 doit être épuré en aval de la boîte froide 4. Dans la variante de la [fig.2], l'hydrogène 21 est refroidi dans l'échangeur 5 dans la boîte froide 3 puis est envoyé à la boîte froide 3A pour être épuré dans l'unité de purification par adsorption P, le débit épuré revenant ensuite à la boîte froide 3 pour une étape de catalyse dans le catalyseur C1, suivi de refroidissement dans l'échangeur 6, de nouveau une étape de catalyse dans le catalyseur C2 et refroidissement dans l'échangeur 6 avant de quitter la boîte froide 3 comme débit 22 pour rejoindre la boîte froide 4 pour le refroidissement final. La catalyse sert à la conversion ortho-para de l'hydrogène, de manière classique. . L'unité d'épuration P ne peuvent accepter qu'une charge de gaz assez pure, car un taux d'impuretés élevé conduit à des catalyseurs de dimensions plus importantes, augmentant les dimensions du module. Disposer l'épuration P dans la boîte froide 3A sera une solution à privilégier quand la charge de gaz 21 nécessite beaucoup d'épuration et donc des lits d'adsorbant de taille conséquente.
- [0068] La boîte froide 3A contient également le thermosiphon 48A dont le liquide 50 est chauffé dans l'échangeur 16 et renvoyé au thermosiphon 48A. Un gaz 32 venant du

thermosiphon se réchauffe dans l'échangeur 15 avec le gaz 19 par échange de chaleur avec le gaz 30 qui se refroidit avant d'être envoyé à l'échangeur 16.

[0069] Dans la [fig.3], l'unité d'épuration P se trouve dans la boîte froide 3, la boîte froide 3A contenant principalement le thermosiphon 48A et les échangeurs 15, 16.

[0070] Il sera remarqué que les connexions sont particulièrement simples.

[0071] L'invention permet la flexibilité d'avoir une charge 21 moins pure et provenant de n'importe quelle source par exemple un reformeur de type ATR ou SMR, un électrolyseur, une canalisation, un gisement d'hydrogène...

[0072] Elle permet d'augmenter la capacité de refroidissement et/ou de conversion catalytique en cas de besoin, en ne modifiant qu'une seule boîte froide.

[0073] Elle permet de réduire les pertes de charge sur le cycle de réfrigération.

[0074] Elle permet la fabrication des deux boîtes froides 3, 3A en parallèle pour réduire le temps de fabrication.

Revendications

[Revendication 1]

Installation de production d'un fluide refroidi, voire cryogénique(22, 23), en particulier de l'hydrogène liquéfié, comprenant un circuit (2) de gaz à refroidir ayant une extrémité amont (21) destinée à être reliée à une source de gaz et une extrémité aval (22) destinée à être reliée à au moins un système receveur, par exemple un stockage cryogénique, l'installation (1) comprenant un premier ensemble d'échangeurs (5, 6, 7) de chaleur en échange thermique avec le circuit (2) de gaz à refroidir, l'installation (1) comprenant un dispositif (8) de pré-refroidissement en échange thermique avec au moins une première partie (5, 6) du premier ensemble d'échangeurs de chaleur et configuré pour pré-refroidir le circuit (2) de gaz à refroidir jusqu'à une première température déterminée, l'installation (1) comprenant éventuellement en outre un dispositif (4) de refroidissement cryogénique en échange thermique avec au moins une seconde partie (7) du premier ensemble d'échangeur(s) de chaleur et configuré pour refroidir le circuit (2) de gaz à refroidir jusqu'à une seconde température déterminée inférieure à la première température, le dispositif (8) de pré-refroidissement comprenant un réfrigérateur à circuit (18) fermé de fluide de pré-refroidissement, le circuit fermé (18) comprenant un dispositif (28) de compression du fluide de pré-refroidissement, un dispositif de détente (38) du fluide de pré-refroidissement, au moins un premier et un deuxième thermosiphons distincts (48, 48A) du fluide de pré-refroidissement disposés en parallèle dans le circuit (18) de fluide de pré-refroidissement, ledit circuit (18) comprenant une ou des portions d'échange thermique avec au moins un de la première partie (5, 6) de l'ensemble d'échangeur(s) de chaleur, un réfrigérateur à cycle de réfrigération d'un gaz de cycle dans un circuit (19) de travail, le gaz de cycle comprenant au moins l'un parmi: de l'hydrogène, de l'hélium, du néon, le circuit (19) de travail du réfrigérateur (9) comprenant un organe (29) de compression du gaz de cycle, un organe (15, 16, 7) de refroidissement du gaz de cycle comprimé, un organe (39) de détente du gaz de cycle comprimé et refroidi et un organe (7, 15) de réchauffage du gaz de cycle détendu, dans lequel l'organe (15, 16, 7) de refroidissement du gaz de cycle et/ou l'organe (7, 15) de réchauffage du gaz de cycle comprend un ou des premiers

échangeurs de chaleur (15, 16) de cycle, distinct(s) du premier ensemble d'échangeurs de chaleur (5, 6) de pré-refroidissement du circuit (2) de gaz à refroidir, ces premiers échangeurs (15, 16) de chaleur de cycle étant également refroidi(s) par échange thermique avec le circuit (18) du fluide de pré-refroidissement du dispositif (8) de pré-refroidissement, une première boîte froide contenant au moins un échangeur de chaleur de la première partie (5, 6) de l'ensemble d'échangeur(s) de chaleur, dont un échangeur de chaleur en échange thermique avec un flux de fluide de pré-refroidissement du circuit (18) sortant du premier thermosiphon (48), le premier thermosiphon et le dispositif de détente du fluide de pré-refroidissement, une deuxième boîte froide contenant le deuxième thermosiphon, l'organe (15, 16) de refroidissement du gaz de cycle comprimé dont l'au moins un premier échangeur de chaleur en échange thermique avec un flux de fluide de pré-refroidissement du circuit (18) sortant du deuxième thermosiphon (48A), l'organe (39) de détente du gaz de cycle comprimé et refroidi et l'organe (15) de réchauffage du gaz de cycle détendu.

[Revendication 2] Installation selon la revendication 1, caractérisée en ce que la première et/ou la deuxième boîte froide est isolée thermiquement au moyen de la perlite.

[Revendication 3] Installation selon la revendication 1 ou 2, comprenant un dispositif (4) de refroidissement cryogénique en échange thermique avec au moins une seconde partie (7) du premier ensemble d'échangeur(s) de chaleur et configuré pour refroidir le circuit (2) de gaz à refroidir jusqu'à une seconde température déterminée inférieure à la première température, le dispositif de refroidissement cryogénique se trouvant dans une troisième boîte froide (4) isolée thermiquement sous vide.

[Revendication 4] Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisée en ce qu'elle comprend des moyens (P) pour épurer le gaz à refroidir refroidi, ces moyens se trouvant dans la deuxième boîte froide (3A), des moyens pour envoyer le gaz à refroidir refroidi dans un échangeur de chaleur dans la première boîte froide aux moyens pour épurer l'hydrogène, des moyens pour envoyer le gaz à refroidir e épuré dans les moyens pour épurer (P) à un échangeur de chaleur de la première boîte pour s'y refroidir.

- [Revendication 5] Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisée en ce qu'elle comprend au moins un catalyseur (C1, C2) dans la première boîte froide.
- [Revendication 6] Installation selon la revendication 4 combinée à la revendication 5, caractérisée en ce que les moyens pour épurer le gaz à refroidir (P) sont reliés à l'au moins un catalyseur (C1, C2) pour y envoyer le gaz à refroidir épuré.
- [Revendication 7] Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 dans laquelle la première boîte froide ne contient pas de moyens pour épurer le gaz à refroidir, par exemple l'hydrogène.
- [Revendication 8] Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 quand dépendante de la revendication 3, caractérisée en ce que la seconde partie (4) de l'ensemble d'échangeur(s) de chaleur comprend au moins un second échangeur de chaleur (7) de cycle assurant un échange thermique entre le circuit (2) de gaz à refroidir et le circuit (19) de travail du dispositif (9) de refroidissement cryogénique.
- [Revendication 9] Installation selon la revendication 8, caractérisée en ce que le second échangeur (7) de chaleur de cycle est en échange thermique avec une première portion du circuit (19) de travail du dispositif (9) véhiculant du gaz de cycle avant passage dans un organe (39) de détente et avec une seconde portion du circuit (19) de travail du dispositif (9) véhiculant du gaz de cycle après passage dans ledit organe (39) de détente.
- [Revendication 10] Installation selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que le second échangeur (7) de chaleur de cycle est situé dans une troisième boîte froide (4) distincte des première et deuxième boîtes froides (3, 3A).
- [Revendication 11] Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 10 caractérisée en ce que le fluide de pré-refroidissement comprend ou est constitué d'au moins un composant choisi dans le groupe : de l'azote, de l'argon, au moins un hydrocarbure choisi dans la liste méthane, éthane, éthylène, propane, propylène, butane, butène, pentane.
- [Revendication 12] Procédé de production d'un fluide refroidi, voire cryogénique, en particulier de l'hydrogène liquéfié, utilisant une installation selon l'une quelconque des revendications précédentes, le procédé comprenant une étape de pré-refroidissement du flux de circuit (2) de gaz à refroidir à une première température comprise entre 65 et

100K et préférentiellement entre 77 et 90K, au moyen du dispositif (8) de pré-refroidissement, une étape de pré-refroidissement du fluide de cycle via le dispositif (8) de pré-refroidissement jusqu'à une température comprise entre 77 et 90K, et éventuellement une étape de refroidissement du gaz de circuit (2) de gaz à refroidir à une seconde température déterminée comprise entre 18 et 25K et préférentiellement entre 20 et 23K via le dispositif (9) de refroidissement cryogénique.

[Revendication 13]

Procédé selon la revendication 12 caractérisé en ce que au moins un échangeur (15, 16) de chaleur de cycle et/ou au moins un échangeur(s) de chaleur (5, 6) configuré(s) pour pré-refroidir le circuit (2) de gaz à refroidir à une première température déterminée est en échange thermique avec un flux de fluide de pré-refroidissement du circuit (18) sortant d'un des thermosiphons (48, 48A), au moins un thermosiphon fonctionnant à une pression entre 1,5 et 3,5 bara et à une température correspondante comprise entre 80,8K et 89,6K.

[Revendication 14]

Procédé selon la revendication 12 ou 13 dans lequel les premier et deuxième thermosiphons (48, 48A) fonctionnent à des pressions différentes.

Revendications modifiées (Article 19) reçues par le Bureau International le 04 novembre 2024 (04.11.2024)

[Revendication 1]

[modifiées]

Installation de production d'un fluide refroidi, voire cryogénique(22, 23), en particulier de l'hydrogène liquéfié, comprenant un circuit (2) de gaz à refroidir ayant une extrémité amont (21) destinée à être reliée à une source de gaz et une extrémité aval (22) destinée à être reliée à au moins un système receveur, par exemple un stockage cryogénique, l'installation (1) comprenant un premier ensemble d'échangeurs (5, 6, 7) de chaleur en échange thermique avec le circuit (2) de gaz à refroidir, l'installation (1) comprenant un dispositif (8) de pré-refroidissement en échange thermique avec au moins une première partie (5, 6) du premier ensemble d'échangeurs de chaleur et configuré pour pré-refroidir le circuit (2) de gaz à refroidir jusqu'à une première température déterminée, l'installation (1) comprenant éventuellement en outre un dispositif (4) de refroidissement cryogénique en échange thermique avec au moins une seconde partie (7) du premier ensemble d'échangeur(s) de chaleur et configuré pour refroidir le circuit (2) de gaz à refroidir jusqu'à une seconde température déterminée inférieure à la première température, le dispositif (8) de pré-refroidissement comprenant un réfrigérateur à circuit (18) fermé de fluide de pré-refroidissement, le circuit fermé (18) comprenant un dispositif (28) de compression du fluide de pré-refroidissement, un dispositif de détente (38) du fluide de pré-refroidissement, au moins un premier et un deuxième thermosiphons distincts (48, 48A) du fluide de pré-refroidissement disposés en parallèle dans le circuit (18) de fluide de pré-refroidissement, ledit circuit (18) comprenant une ou des portions d'échange thermique avec au moins un de la première partie (5, 6) de l'ensemble d'échangeur(s) de chaleur, un réfrigérateur à cycle de réfrigération d'un gaz de cycle dans un circuit (19) de travail, le gaz de cycle comprenant au moins l'un parmi: de l'hydrogène, de l'hélium, du néon, le circuit (19) de travail du réfrigérateur (9) comprenant un organe (29) de compression du gaz de cycle, un organe (15, 16, 7) de refroidissement du gaz de cycle comprimé, un

organe (39) de détente du gaz de cycle comprimé et refroidi et un organe (7, 15) de réchauffage du gaz de cycle détendu, dans lequel l'organe (15, 16, 7) de refroidissement du gaz de cycle et/ou l'organe (7, 15) de réchauffage du gaz de cycle comprend un ou des premiers échangeurs de chaleur (15, 16) de cycle, distinct(s) du premier ensemble d'échangeurs de chaleur (5, 6) de pré-refroidissement du circuit (2) de gaz à refroidir, ces premiers échangeurs (15, 16) de chaleur de cycle étant également refroidi(s) par échange thermique avec le circuit (18) du fluide de pré-refroidissement du dispositif (8) de pré-refroidissement, une première boîte froide contenant au moins un échangeur de chaleur de la première partie (5, 6) de l'ensemble d'échangeur(s) de chaleur, dont un échangeur de chaleur en échange thermique avec un flux de fluide de pré-refroidissement du circuit (18) sortant du premier thermosiphon (48), le premier thermosiphon et le dispositif de détente du fluide de pré-refroidissement, une deuxième boîte froide contenant le deuxième thermosiphon, l'organe (15, 16) de refroidissement du gaz de cycle comprimé dont l'au moins un premier échangeur de chaleur en échange thermique avec un flux de fluide de pré-refroidissement du circuit (18) sortant du deuxième thermosiphon (48A), l'organe (39) de détente du gaz de cycle comprimé et refroidi et l'organe (15) de réchauffage du gaz de cycle détendu, l'installation comprenant des moyens (P) pour épurer le gaz à refroidir refroidi, ces moyens se trouvant dans la deuxième boîte froide (3A), des moyens pour envoyer le gaz à refroidir refroidi dans un échangeur de chaleur dans la première boîte froide aux moyens pour épurer l'hydrogène, des moyens pour envoyer le gaz à refroidir et épuré dans les moyens pour épurer (P) à un échangeur de chaleur de la première boîte pour s'y refroidir.

[Revendication 2]

Installation selon la revendication 1, caractérisée en ce que la première et/ou la deuxième boîte froide est isolée thermiquement au moyen de la perlite.

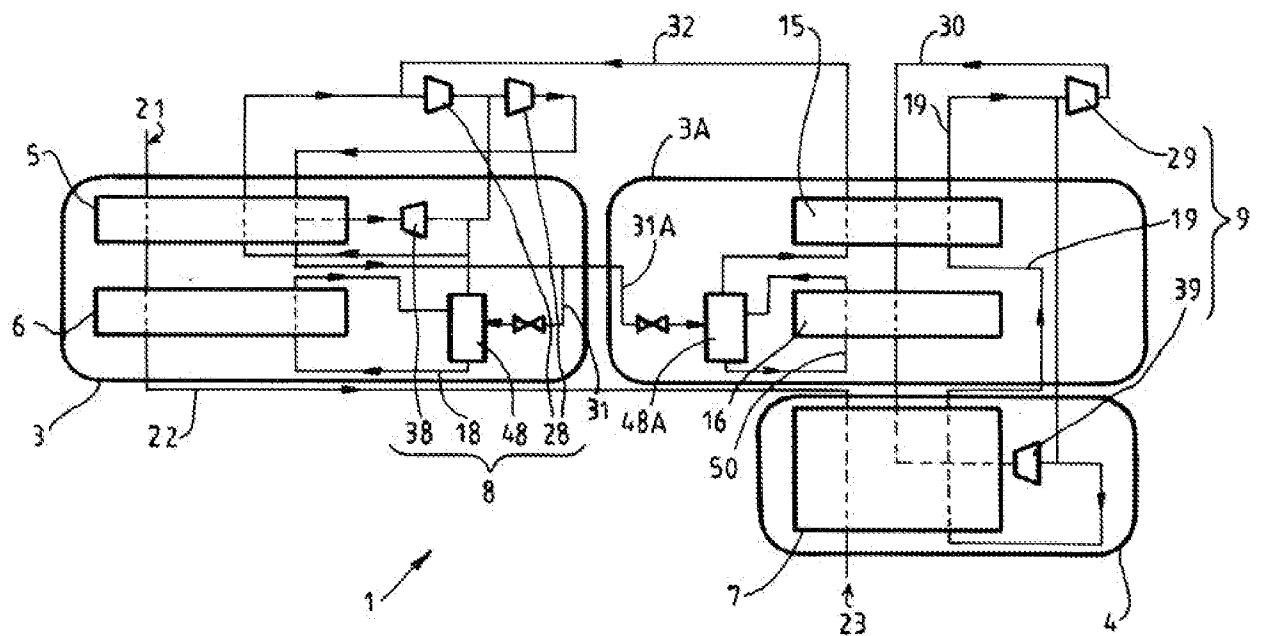
[Revendication 3]

Installation selon la revendication 1 ou 2, comprenant un dispositif (4) de refroidissement cryogénique en échange thermique avec au moins une seconde partie (7) du premier ensemble d'échangeur(s) de chaleur et configuré pour refroidir le circuit (2) de gaz à refroidir jusqu'à une seconde température déterminée inférieure à la première température, le dispositif de refroidissement cryogénique se trouvant dans une troisième boîte froide (4) isolée thermiquement sous vide.

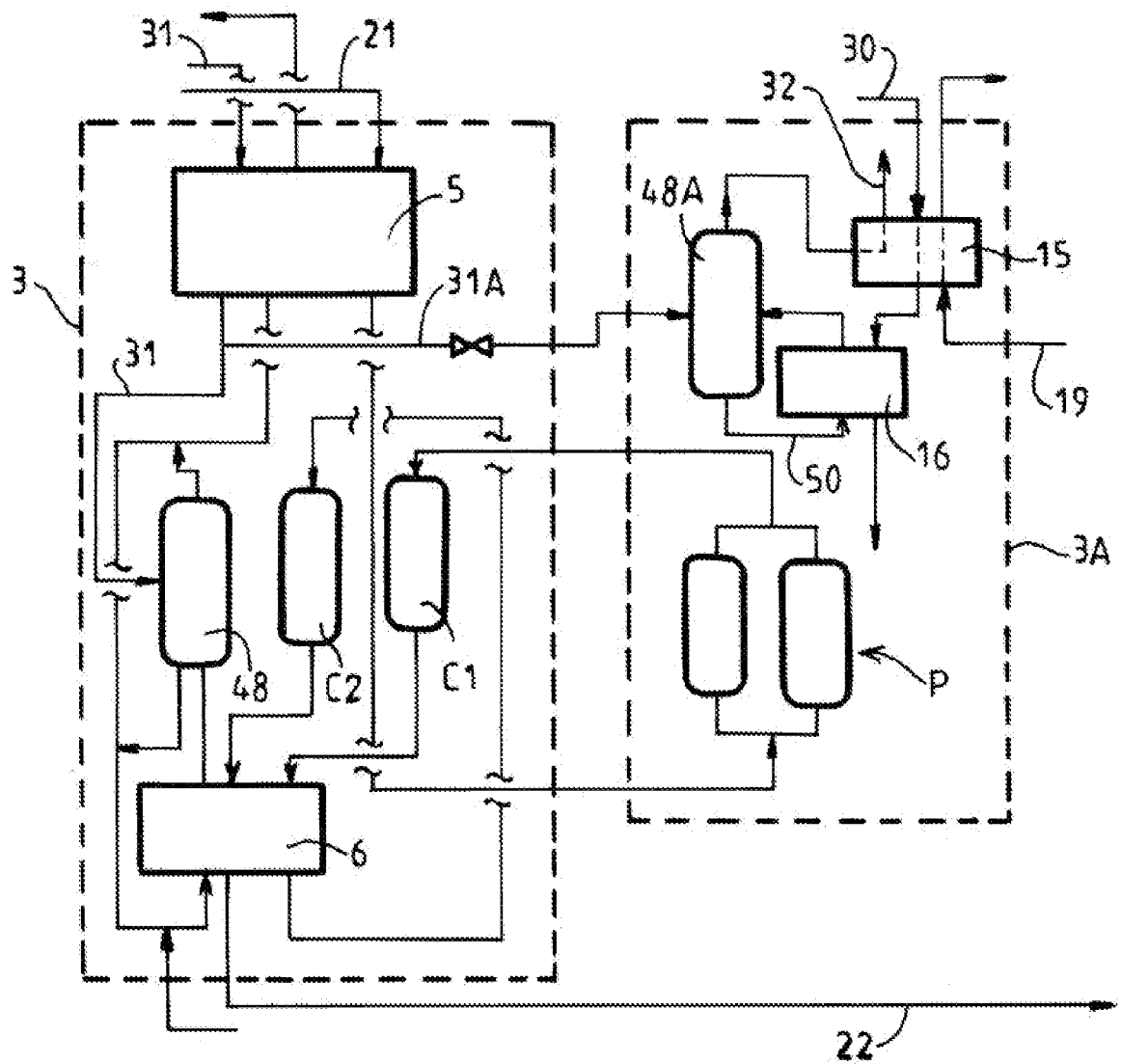
- [Revendication 4] [modifiées]
Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisée en ce qu'elle comprend au moins un catalyseur (C1, C2) dans la première boîte froide.
- [Revendication 5] [modifiées]
Installation selon la revendication 4, caractérisée en ce que les moyens pour épurer le gaz à refroidir (P) sont reliés à l'au moins un catalyseur (C1, C2) pour y envoyer le gaz à refroidir épuré.
- [Revendication 6] [modifiées]
Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 dans laquelle la première boîte froide ne contient pas de moyens pour épurer le gaz à refroidir, par exemple l'hydrogène.
- [Revendication 7] [modifiées]
Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 quand dépendante de la revendication 3, caractérisée en ce que la seconde partie (4) de l'ensemble d'échangeur(s) de chaleur comprend au moins un second échangeur de chaleur (7) de cycle assurant un échange thermique entre le circuit (2) de gaz à refroidir et le circuit (19) de travail du dispositif (9) de refroidissement cryogénique.
- [Revendication 8] [modifiées]
Installation selon la revendication 7, caractérisée en ce que le second échangeur (7) de chaleur de cycle est en échange thermique avec une première portion du circuit (19) de travail du dispositif (9) véhiculant du gaz de cycle avant passage dans un organe (39) de détente et avec une seconde portion du circuit (19) de travail du dispositif (9) véhiculant du gaz de cycle après passage dans ledit organe (39) de détente.
- [Revendication 09] Installation selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que le second échangeur (7) de chaleur de cycle est situé dans une troisième boîte froide (4) distincte des première et deuxième boîtes froides (3, 3A).
- [Revendication 10] [modifiées]
Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 caractérisée en ce que le fluide de pré-refroidissement comprend ou est constitué d'au moins un composant choisi dans le groupe : de l'azote, de l'argon, au moins un hydrocarbure choisi dans la liste méthane, éthane, éthylène, propane, propylène, butane, butène, pentane.

- [Revendication 11] Procédé de production d'un fluide refroidi, voire cryogénique, en particulier de l'hydrogène liquéfié, utilisant une installation selon l'une quelconque des revendications précédentes, le procédé comprenant une étape de pré-refroidissement du flux de circuit (2) de gaz à refroidir à une première température comprise entre 65 et 100K et préférentiellement entre 77 et 90K, au moyen du dispositif (8) de pré-refroidissement, une étape de pré-refroidissement du fluide de cycle via le dispositif (8) de pré-refroidissement jusqu'à une température comprise entre 77 et 90K, et éventuellement une étape de refroidissement du gaz de circuit (2) de gaz à refroidir à une seconde température déterminée comprise entre 18 et 25K et préférentiellement entre 20 et 23K via le dispositif (9) de refroidissement cryogénique.
- [Revendication 12] [modifiées]
Procédé selon la revendication 11 caractérisé en ce que au moins un échangeur (15, 16) de chaleur de cycle et/ou au moins un échangeur(s) de chaleur (5, 6) configuré(s) pour pré-refroidir le circuit (2) de gaz à refroidir à une première température déterminée est en échange thermique avec un flux de fluide de pré-refroidissement du circuit (18) sortant d'un des thermosiphons (48, 48A), au moins un thermosiphon fonctionnant à une pression entre 1,5 et 3,5 bara et à une température correspondante comprise entre 80,8K et 89,6K.
- [Revendication 13] [modifiées]
Procédé selon la revendication 11 ou 12 dans lequel les premier et deuxième thermosiphons (48, 48A) fonctionnent à des pressions différentes.

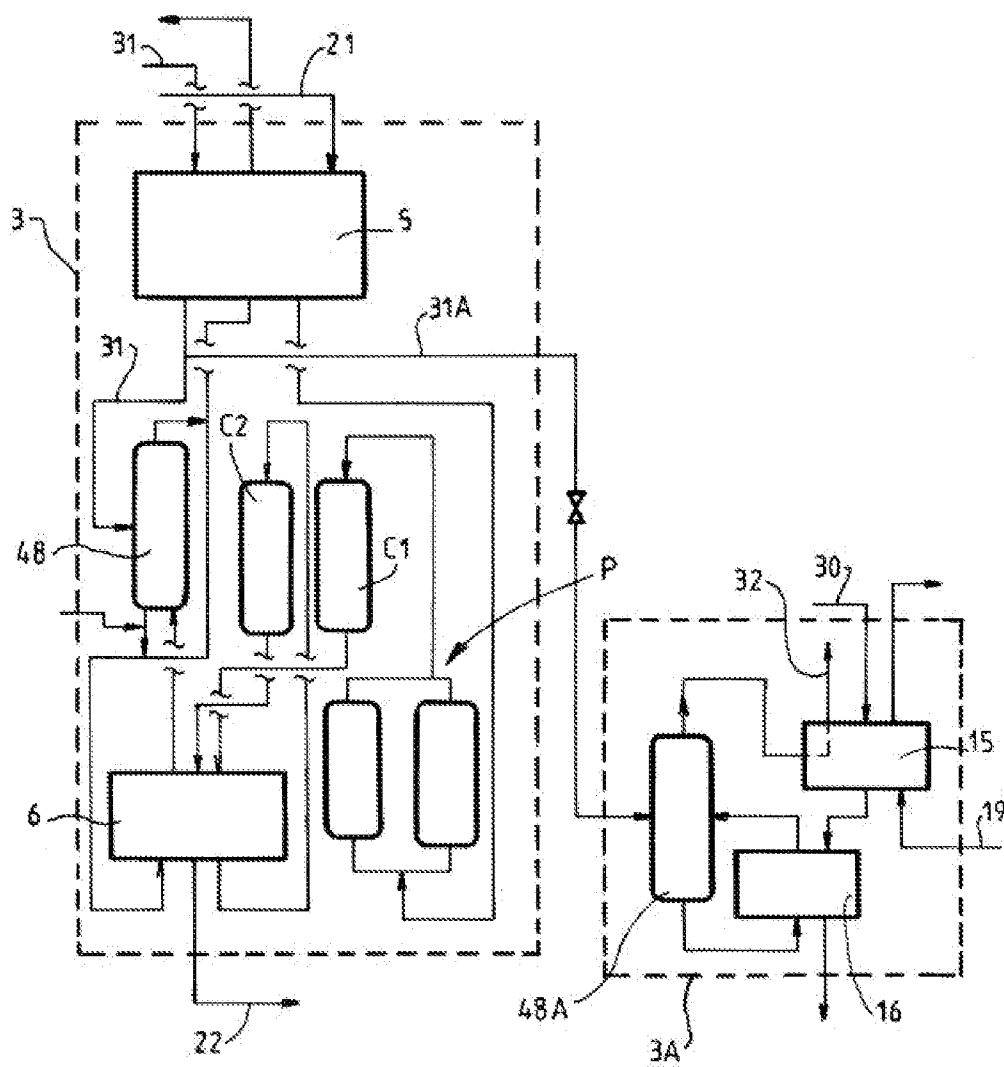
[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/068530

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		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	Kuz'menko I F ET AL. "Open Joint-Stock Company CONCEPT OF BUILDING MEDIUM-CAPACITY HYDROGEN LIQUEFIERS WITH HELIUM REFRIGERATION CYCLE" 01 January 2004 (2004-01-01), pages 22-24, Retrieved from the Internet: https://link.springer.com/content/pdf/10.1023/B:CAPE.0000024144.92081.aa.pdf [retrieved on 2022-02-03] XP055886987	1-3,5,7-14
A	figure 1	4,6
Y	KUENDIG ANDRES ET AL. "Large scale hydrogen liquefaction in combination with LNG re-gasification" , Vol. 23, 01 June 2006 (2006-06-01), pages 3326-3333, 16TH WORLD HYDROGEN ENERGY CONFERENCE 2006, WHEC 2006, Retrieved from the Internet: https://www.cder.dz/A2H2/Medias/Download/Proc%20PDF/posters/[GIV]%20Liquid%20&%20gaseous%20storage,%20delidevy,%20safety,%20RCS/713.pdf XP055886984	1-3,5,7-14
A	cited in the application figure 5	4,6
☒ 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 20 September 2024		Date of mailing of the international search report 14 October 2024
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands (Kingdom of the) Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Göritz, Dirk Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/068530

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	FR 3123420 A1 (ENGIE [FR]; ARIANEGROUP SAS [FR]) 02 December 2022 (2022-12-02) figures 2,3	1-3,5,7-14 4,6
Y A	US 3380809 A (NEWTON CHARLES L) 30 April 1968 (1968-04-30) figures	1-3,5,8-14 4,6,7
Y	US 2023009727 A1 (TURNERY MICHAEL A [US] ET AL) 12 January 2023 (2023-01-12) figure 4	1-3,5,7-14
Y	RU 2309342 C1 (KRIOGENNOGO MASH OAO KRIOGENMA [RU]) 27 October 2007 (2007-10-27) the whole document	1-3,5,7-14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2024/068530

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
FR	3123420	A1	02 December 2022	AU	2022285918	A1	14 December 2023
				BR	112023025068	A2	20 February 2024
				CL	2023003563	A1	28 June 2024
				EP	4348138	A1	10 April 2024
				FR	3123420	A1	02 December 2022
				US	2024255216	A1	01 August 2024
				WO	2022254132	A1	08 December 2022
US	3380809	A	30 April 1968	DE	1254656	B	23 November 1967
				FR	1419027	A	26 November 1965
				GB	1089191	A	01 November 1967
				GB	1089192	A	01 November 1967
				NL	6412058	A	20 April 1965
				US	3380809	A	30 April 1968
US	2023009727	A1	12 January 2023	NONE			
RU	2309342	C1	27 October 2007	NONE			

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		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	Kuz 'menko I F ET AL: "Open Joint-Stock Company CONCEPT OF BUILDING MEDIUM-CAPACITY HYDROGEN LIQUEFIERS WITH HELIUM REFRIGERATION CYCLE", , 1 janvier 2004 (2004-01-01), pages 22-24, XP055886987, Extrait de l'Internet: URL:https://link.springer.com/content/pdf/10.1023/B:CAPE.0000024144.92081.aa.pdf [extrait le 2022-02-03]	1 - 3, 5, 7 - 14
A	figure 1 ----- - / - -	4, 6
☒ 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 20 septembre 2024		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 14/10/2024
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 Göritz, Dirk

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	KUENDIG ANDRES ET AL: "Large scale hydrogen liquefaction in combination with LNG re-gasification", 16TH WORLD HYDROGEN ENERGY CONFERENCE 2006, WHEC 2006 , vol. 23 1 juin 2006 (2006-06-01), pages 3326-3333, XP055886984, Extrait de l'Internet: URL:https://www.cder.dz/A2H2/Medias/Download/Proc%20PDF/posters/[GIV]%20Liquid%20&%20gaseous%20storage,%20delidevy,%20safety,%20RCS/713.pdf cité dans la demande	1-3,5, 7-14
A	figure 5 -----	4,6
Y	FR 3 123 420 A1 (ENGIE [FR]; ARIANEGROUP SAS [FR]) 2 décembre 2022 (2022-12-02)	1-3,5, 7-14
A	figures 2,3 -----	4,6
Y	US 3 380 809 A (NEWTON CHARLES L) 30 avril 1968 (1968-04-30)	1-3,5, 8-14
A	figures -----	4,6,7
Y	US 2023/009727 A1 (TURNERY MICHAEL A [US] ET AL) 12 janvier 2023 (2023-01-12) figure 4 -----	1-3,5, 7-14
Y	RU 2 309 342 C1 (KRIOGENNOGO MASH OAO KRIOGENMA [RU]) 27 octobre 2007 (2007-10-27) le document en entier -----	1-3,5, 7-14

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2024/068530

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 3123420	A1	02-12-2022	AU 2022285918 A1	14-12-2023
			BR 112023025068 A2	20-02-2024
			CL 2023003563 A1	28-06-2024
			EP 4348138 A1	10-04-2024
			FR 3123420 A1	02-12-2022
			US 2024255216 A1	01-08-2024
			WO 2022254132 A1	08-12-2022

US 3380809	A	30-04-1968	DE 1254656 B	23-11-1967
			FR 1419027 A	26-11-1965
			GB 1089191 A	01-11-1967
			GB 1089192 A	01-11-1967
			NL 6412058 A	20-04-1965
			US 3380809 A	30-04-1968

US 2023009727	A1	12-01-2023	AUCUN	

RU 2309342	C1	27-10-2007	AUCUN	
