(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
02 janvier 2025 (02.01.2025)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2025/002660 A1

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

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2024/063685

(22) Date de dépôt international :
17 mai 2024 (17.05.2024)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
FR2306867 29 juin 2023 (29.06.2023) FR

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

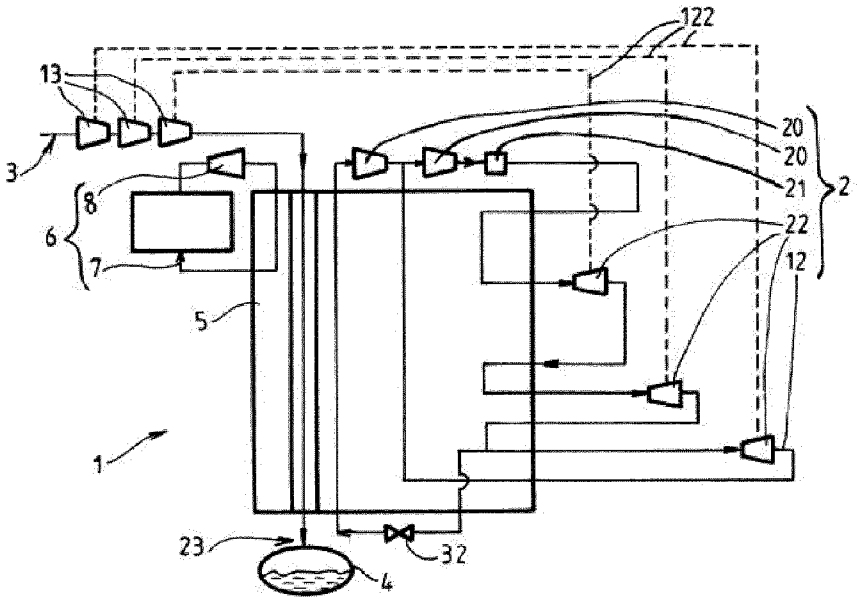
(72) Inventeurs : **BARJHOUX, Pierre** ; c/o AIR LIQUIDE ADVANCED TECHNOLOGIES, 2 rue de Clemenciere BP 15, 38360 SASSENAGE (FR). **DELAUTRE, Guillaume** ; c/o AIR LIQUIDE ADVANCED TECHNOLOGIES, 2 rue de Clemenciere BP 15, 38360 SASSENAGE (FR). **RAZAT, Theophile** ; c/o AIR LIQUIDE ADVANCED TECHNOLOGIES, 2 rue de Clemenciere BP 15, 38360 SASSENAGE (FR). **DANG, Tianyi** ; c/o AIR LIQUIDE GLOBAL E & C SOLUTION 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).

(54) **Title:** FLUID LIQUEFACTION FACILITY AND METHOD

(54) **Titre :** INSTALLATION ET PROCÉDÉ DE LIQUÉFACTION D'UN FLUIDE

[Fig. 1]



(57) **Abstract:** The invention relates to a facility for liquefying a fluid such as hydrogen, which facility comprises a circuit (3) of fluid to be cooled, which circuit has a downstream end (23) intended to be connected to a member (4) for collecting the liquefied fluid, an assembly of one or more heat exchangers (5) exchanging heat with the circuit (3) of fluid to be cooled, at least one refrigerator (2) exchanging heat with at least part of the assembly of one or more heat exchangers (5), the refrigerator having a cycle circuit (12) comprising: a mechanism (20) for compressing the cycle gas, at least one member (21, 5) for cooling the cycle gas, a mechanism (22) for expanding the cycle gas and at least one member (5) for reheating the expanded cycle gas, the mechanism for compressing the cycle gas comprising at least two compression stages (20) arranged in series, the expansion mechanism comprising at least two expansion turbines (22), the circuit (3) of fluid to be cooled having, at its upstream end, at least one stage (13) for compressing the supply gas, one

WO 2025/002660 A1

[Suite sur la page suivante]

(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, 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), 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, 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))*

of the turbines (22) being mechanically coupled (122) to the stage (13) for compressing the supply gas so as to supply the mechanical work produced during the expansion.

(57) Abrégé : L'invention concerne une installation de liquéfaction d'un fluide tel que l'hydrogène comprenant un circuit (3) de fluide a refroidir ayant une extrémité aval (23) destinée à être reliée à un organe (4) de collecte du fluide liquéfié, un ensemble d'échangeur(s) (5) de chaleur en échange thermique avec le circuit (3) de fluide à refroidir, au moins un réfrigérateur (2) en échange thermique avec au moins une partie de l'ensemble d'échangeur(s) de chaleur (5), le réfrigérateur possédant un circuit (12) de cycle comprenant: un mécanisme (20) de compression du gaz de cycle, au moins un organe (21, 5) de refroidissement du gaz de cycle, un mécanisme (22) de détente du gaz de cycle et au moins un organe (5) de réchauffage du gaz de cycle détendu, le mécanisme de compression du gaz de cycle comprenant au moins deux étages (20) de compression disposés en série, le mécanisme de détente comprenant au moins deux turbines (22) de détente, le circuit (3) de fluide à refroidir possédant, au niveau de son extrémité amont, au moins un étage (13) de compression du gaz d'alimentation, une des turbines (22) étant accouplée (122) mécaniquement à l'étage (13) de compression du gaz d'alimentation pour fournir du travail mécanique produit lors de la détente.

Description

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

[0001] L'invention concerne une installation et un procédé de liquéfaction d'un fluide tel que l'hydrogène et/ou l'hélium par exemple.

[0002] L'invention concerne plus particulièrement une installation de liquéfaction d'un fluide tel que l'hydrogène et/ou l'hélium comprenant un circuit de fluide a refroidir ayant une extrémité amont destinée à être reliée à une source de fluide gazeux et une extrémité aval destinée à être reliée à un organe de collecte du fluide liquéfié, l'installation comprenant un ensemble d'échangeur(s) de chaleur en échange thermique avec le circuit de fluide à refroidir, l'installation comprenant au moins un réfrigérateur en échange thermique avec au moins une partie de l'ensemble d'échangeur(s) de chaleur, le réfrigérateur étant un réfrigérateur à cycle de réfrigération d'un gaz de cycle comprenant majoritairement de l'hydrogène et/ou de l'hélium, le réfrigérateur possédant un circuit de cycle comprenant: un mécanisme de compression du gaz de cycle, au moins un organe de refroidissement du gaz de cycle, un mécanisme de détente du gaz de cycle et au moins un organe de réchauffage du gaz de cycle détendu, le mécanisme de compression du gaz de cycle comprenant au moins deux étages de compression disposés en série, le mécanisme de détente comprenant au moins deux turbines de détente, le circuit de fluide à refroidir possédant, au niveau de son extrémité amont, au moins un étage de compression du gaz d'alimentation.

[0003] La pression du gaz d'alimentation influe sur la quantité d'énergie nécessaire à extraire pour liquéfier ce flux de gaz d'alimentation. Un flux de gaz d'alimentation à une pression relativement élevée n'est pas forcément toujours disponible ou peut être coûteux énergétiquement à réaliser. Ainsi, par exemple, il est connu de prévoir des compresseurs typiquement de technologie volumétrique, pour augmenter la pression du gaz d'alimentation avant sa liquéfaction. Cette solution est cependant coûteuse en matériel, maintenance et consommation énergétique.

[0004] Dans le cas de l'hydrogène, selon d'autres solutions, la source de gaz d'alimentation (électrolyseur ou dispositif de vapo-reformage) est configurée pour fournir de l'hydrogène à haute pression. Cependant ceci nécessite d'augmenter significativement le coût des équipements de production, leur tenue dans le temps et leur consommation énergétique.

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

[0006] A cette fin, l'installation selon l'invention, par ailleurs conforme à la définition

générique qu'en donne le préambule ci-dessus, est essentiellement caractérisée en ce qu'une des turbines est accouplée mécaniquement à l'étage de compression du gaz d'alimentation pour fournir du travail mécanique produit lors de la détente.

[0007] Par ailleurs, des modes de réalisation de l'invention peuvent comporter l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- l'étage de compression du gaz d'alimentation est du type à compresseur centrifuge,
- le circuit de fluide à refroidir possède, au niveau de son extrémité amont, plusieurs étages de compression du gaz d'alimentation disposés en série, et en ce que des turbines du circuit de cycle sont accouplées mécaniquement respectivement aux étages de compression du gaz d'alimentation en série,
- le mécanisme de détente comprend plusieurs turbines de détente disposées en série d'amont en aval, les turbines en série sont accouplées respectivement avec des étages de compression en série pris dans l'ordre inverse de leur disposition en série, c'est-à-dire que, au moins une turbine est accouplée avec un étage de compression située en amont d'un étage de compression accouplé à une autre turbine qui la précède,
- le fluide du circuit de fluide à refroidir transitant dans les étages de compression est de nature ou composition différente du fluide circulant dans les turbine respectivement accouplées, par exemple respectivement de l'hydrogène ayant des proportions Ortho/Para différentes,
- une partie seulement des turbines de détente sont accouplées avec des étages de compression du gaz d'alimentation,
- le mécanisme de compression du gaz de cycle comprend au moins deux étages de compression de type centrifuge, au moins une turbine de détente étant accouplée avec un de ces étages de compression du mécanisme de compression du gaz de cycle,
- l'installation est configurée pour que, en fonctionnement, les pressions d'entrée des turbines soient distinctes, la au moins une turbine de détente accouplée avec un de ces étages de compression du mécanisme de compression du gaz de cycle a une pression d'entrée qui est relativement plus élevée que la pression d'entrée de la au moins une turbine accouplée à un étage de compression du gaz d'alimentation,
- la au moins une turbine de détente est de type centripète et/ou le ou les étages de compression du gaz d'alimentation à compresseur à roue tournante est du type centrifuge,
- plusieurs étages de compression sont accouplés à une même turbine,
- l'installation comprend un système de pré-refroidissement en échange

thermique avec au moins une partie de l'ensemble d'échangeur(s) de chaleur, ledit système de pré-refroidissement comprenant un circuit de fluide caloporteur tel que de l'azote liquide et/ou un réfrigérateur à circuit de cycle d'un mélange de réfrigérants, le système de pré-refroidissement étant configuré pour refroidir le fluide circuit de fluide à refroidir à une température intermédiaire entre la température du fluide au niveau de l'extrémité amont du circuit et la température du fluide au niveau de l'extrémité aval du circuit.

[0008] L'invention concerne également un procédé de production de gaz liquéfié cryogénique, par exemple de l'hydrogène liquide, utilisant une installation selon l'une quelconque des caractéristiques ci-dessus ou ci-dessous, le procédé comprenant une étape de compression d'un débit de gaz d'alimentation dans le au moins un étage de compression du gaz d'alimentation, une étape de refroidissement du gaz d'alimentation comprimé dans l'ensemble d'échangeur(s) de chaleur, dans lequel au moins une partie du travail de compression du gaz d'alimentation est fourni par au moins une turbine du circuit de cycle.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.

[0009] 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

[0010] 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 :

[0011] [Fig.1] est une vue schématique et simplifiée illustrant un exemple de structure et de fonctionnement d'une installation selon un premier mode de réalisation possible de l'invention,

[0012] [Fig.2] est une vue schématique et simplifiée illustrant un exemple de structure et de fonctionnement d'une installation selon un deuxième mode de réalisation possible de l'invention.

Description détaillée

[0013] Sur toutes les figures, les mêmes références se rapportent aux mêmes éléments.

[0014] 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.

[0015] L'installation 1 de liquéfaction d'un fluide tel que l'hydrogène et/ou l'hélium illustrée à la [Fig.1] comprend un circuit 3 de fluide à refroidir ayant une extrémité

amont destinée à être reliée à une source de fluide gazeux et une extrémité aval 23 destinée à être reliée à un organe 4 de collecte du fluide liquéfié.

[0016] La source peut comprend par exemple un électrolyseur ou un système de vapo-reformage. La source fournit par exemple de l'hydrogène à une première température (par exemple ambiante) et à une première pression, par exemple comprise entre 2 et 25bar.

[0017] L'installation 1 comprend un ensemble d'échangeur(s) 5 de chaleur en échange thermique avec le circuit 3 de fluide à refroidir. Dans l'exemple schématique illustré, un seul échangeur 5 de chaleur est représenté mais plusieurs échangeurs de chaleur en série peuvent être prévus.

[0018] L'installation 1 comprend au moins un réfrigérateur 2 en échange thermique avec au moins une partie de l'ensemble d'échangeur(s) de chaleur 5 et configuré pour fournir de la puissance froide au(x) échangeur(s) 5.

[0019] Le réfrigérateur 2 est un réfrigérateur à cycle de réfrigération d'un gaz de cycle comprenant de préférence majoritairement de l'hydrogène et/ou de l'hélium.

[0020] Le réfrigérateur possède un circuit 12 de cycle comprenant: un mécanisme 20 de compression du gaz de cycle (de préférence plusieurs compresseurs), au moins un organe 21, 5 de refroidissement du gaz de cycle (un ou plusieurs échangeurs de chaleur), un mécanisme 22 de détente du gaz de cycle (turbines de détente et éventuellement vanne(s)) et au moins un organe 5 de réchauffage du gaz de cycle détendu (un ou plusieurs échangeurs de chaleur).

[0021] Le mécanisme de compression du gaz de cycle comprend au moins deux étages 20 de compression disposés en série, par exemple des compresseurs centrifuges.

[0022] Le mécanisme de détente comprend au moins deux turbines 22 de détente, par exemple des turbines centripètes.

[0023] Le mécanisme de détente peut comprendre en outre au moins une vanne 25 de détente de type Joule Thomson disposée par exemple en série en aval des turbines 22.

[0024] Comme illustré, l'installation 1 peut comprendre un système 6 de pré-refroidissement en échange thermique avec au moins une partie de l'ensemble d'échangeur(s) 5 de chaleur. Ce système 6 de pré-refroidissement peut être prévu pour pré-refroidir le circuit 3 de fluide à refroidir à une température intermédiaire entre la première température et la température plus froide obtenue au niveau de l'extrémité 23 aval (par exemple température de liquéfaction obtenue au niveau de l'extrémité aval).

[0025] Le système 6 de pré-refroidissement peut comprendre un circuit 7 de fluide caloporteur tel que de l'azote liquide et/ou un réfrigérateur à circuit 7 de cycle d'un mélange de réfrigérants.

[0026] Le circuit 3 de fluide à refroidir possède, au niveau de son extrémité amont, au moins un étage 13 de compression du gaz d'alimentation à compresseur de préférence du type

radial centrifuge.

[0027] Selon une particularité avantageuse, au moins une des turbines 22 est accouplée 122 mécaniquement l'étage 13 de compression du gaz d'alimentation pour fournir à l'étage 13 de compression du travail mécanique produit lors de la détente. L'accouplement est par exemple réalisé en accouplant les deux roues (turbine et compresseur)à un même arbre 122 rotatif pour former un « turbocompresseur »).

[0028] C'est-à-dire que le travail de détente du circuit de cycle est utilisé au moins partiellement pour augmenter la pression du gaz d'alimentation à température ambiante qui va être liquéfié.

[0029] Cette augmentation de la pression du gaz d'alimentation permet de réduire l'énergie à extraire du fluide qu'on cherche à liquéfier, ceci en dépensant moins d'énergie que selon l'art antérieur.

[0030] Les turbines 22 de détente traitent ainsi un débit de gaz nettement supérieur au débit de gaz à d'alimentation à liquéfier. La puissance mécanique extraite du côté turbine (qui est fournie au compresseur) est donc conséquente et permet de générer un taux de compression significatif sur le circuit d'alimentation à liquéfier. Cette puissance mécanique est en effet assimilée au produit du débit massique par la variation d'enthalpie (delta H) aux bornes de la machine considérée (turbine ou compresseur). Si le débit massique est plus faible dans la compression du circuit 3 d'alimentation que dans le les turbines du circuit de cycle, la variation d'enthalpie dans la compression du circuit 3 d'alimentation sera donc nettement supérieure et donc le taux de compression à ses bornes également.

[0031] Comme illustré, le circuit 3 de fluide à refroidir peut posséder, au niveau de son extrémité amont, plusieurs étages 13 de compression du gaz d'alimentation à compresseur de type volumétrique radiale, typiquement centrifuge disposés en série. Tout ou partie de ces compresseurs 13 peuvent être accouplées 122 mécaniquement respectivement à des turbines respectives. De même, plusieurs étages de compression peuvent être accouplés à une même turbine 22 (sur un arbre commun).

[0032] Comme illustré, le mécanisme de détente peut comprendre plusieurs turbines 22 de détente disposées en série d'amont en aval.

[0033] Comme illustré, de préférence, les turbines 22 en série sont accouplées respectivement avec des étages de compression 13 en série pris dans l'ordre inverse de leur disposition en série. C'est-à-dire que, au moins une turbine 22 est accouplée avec un étage de compression 13 située en amont d'un étage de compression 13 accouplé à une autre turbine 22 qui la précède.

[0034] Contrairement à l'exemple illustré, une partie seulement des turbines 22 de détente peuvent être accouplées avec un ou des étages de compression 13 du gaz d'alimentation.

[0035] De plus, une ou des turbines 12 peuvent être accouplées avec un ou des compresseurs 20 du circuit 12 de cycle. Par exemple, le mécanisme de compression du gaz de cycle comprend au moins deux étages 20 de compression de type centrifuge et au moins une turbine 22 de détente est accouplée avec un de ces étages de compression 20 du mécanisme de compression du gaz de cycle.

[0036] De préférence, le réfrigérateur 1 est configuré pour que, en fonctionnement, les pressions d'entrée des turbines 22 sont distinctes et, la au moins une turbine 22 de détente est accouplée avec un de ces étages de compression 20 du mécanisme de compression du gaz de cycle à une pression d'entrée qui est relativement plus élevée que la pression d'entrée de la au moins une turbine 22 accouplée 122 à un étage 13 de compression du gaz d'alimentation.

[0037] Ceci permet de limiter la résultante des efforts axiaux appliqués aux bornes de chaque turbomachine.

[0038] En variante ou en combinaison, il est possible de récupérer le travail de détente de façon hybride. C'est-à-dire que, par exemple, les turbines 12 opérant aux pressions les plus hautes fournissent leur travail à des pistons (ou autre), par exemple dans le circuit de cycle tandis que les turbines 12 opérant à des plus basses pressions fournissent leur travail au compresseur(s) du gaz d'alimentation.

[0039] Cette récupération de travail améliore le rendement de l'installation, en particulier sur l'ensemble de la gamme de température de 300K à 20K.

[0040] La [Fig.2] illustre une variante de réalisation possible. Les éléments identiques à ceux décrits précédemment sont désignés par les mêmes références numériques et ne sont pas décrits une seconde fois.

[0041] Cette variante se distingue de celle de la [Fig.1] essentiellement en ce que des turbines 22 sont accouplées également à des compresseurs 20 du circuit 12 de cycle. C'est-à-dire que du travail mécanique de détente (au moins une turbine 22) est fourni à la fois pour comprimer 13 le gaz d'alimentation (à au moins un compresseur 13) et pour comprimer le gaz de cycle (au moins un compresseur 20).

[0042] Dans l'exemple non limitatif illustré, deux turbines 22 de détente en série sont accouplées respectivement à un compresseur 20 (parmi trois compresseurs 13) du circuit 12 de cycle et à un compresseur 13 du gaz d'alimentation. Dans cet exemple, la première turbine 22 en série est accouplée avec le dernier compresseur 20 du circuit 12 de cycle.

[0043] Bien entendu, tout autre arrangement différent peut être envisagé pour fournir du travail mécanique à n (nombre entier) compresseurs 13 du gaz d'alimentation et à m (nombre entier) compresseurs 22 du gaz de cycle. Le nombre de turbines est alors n+m (sauf si plusieurs compresseurs sont accouplés à une même turbine).

[0044] Selon la pression du gaz de cycle ou du gaz d'alimentation, les couplages avec les

turbines peuvent être adaptés. Ceci peut être adapté pour contrôler les charges axiales subies par les turbo-détendeurs ainsi formés.

[0045] Par exemple, lorsqu'il y a plusieurs turbines 22 accouplées à plusieurs compresseurs 20 du circuit 12 de cycle, les premières turbines 22, sont préférentiellement accouplées d'amont en aval, avec les compresseurs 20 du circuit 12 de cycle situés en aval des compresseurs en série. Ceci permet d'accoupler des turbines 12 et compresseurs 20 au même niveau de pression relativement plus élevé (par exemple entre 50 et 60bar).

[0046] En revanche, la ou les turbines 22 suivante(s) sont accouplées respectivement avec le ou les compresseurs du circuit 3 d'alimentation qui sont à un même niveau de pression relativement inférieur (par exemple entre 10 et 20 bar). Cet appairage des turbines et compresseurs par niveau de pression permet de diminuer les charges axiales induites dans les arbres d'entraînement communs concernés.

[0047] Ainsi, la ou les turbines 22 qui aspirent une pression relativement plus élevée sont accouplées à des compresseurs installés sur des circuits de pression équivalente tandis que la ou les turbines 22 qui aspirent une pression relativement plus basse sont accouplées aux compresseurs installés sur un circuit plus basse pression (circuit d'alimentation 3 en particulier).

Revendications

[Revendication 1] Installation de liquéfaction d'un fluide tel que l'hydrogène et/ou l'hélium comprenant un circuit (3) de fluide a refroidir ayant une extrémité amont destinée à être reliée à une source de fluide gazeux et une extrémité aval (23) destinée à être reliée à un organe (4) de collecte du fluide liquéfié, l'installation (1) comprenant un ensemble d'échangeur(s) (5) de chaleur en échange thermique avec le circuit (3) de fluide à refroidir, l'installation (1) comprenant au moins un réfrigérateur (2) en échange thermique avec au moins une partie de l'ensemble d'échangeur(s) de chaleur (5), le réfrigérateur (2) étant un réfrigérateur à cycle de réfrigération d'un gaz de cycle comprenant majoritairement de l'hydrogène et/ou de l'hélium, le réfrigérateur possédant un circuit (12) de cycle comprenant: un mécanisme (20) de compression du gaz de cycle, au moins un organe (21, 5) de refroidissement du gaz de cycle, un mécanisme (22) de détente du gaz de cycle et au moins un organe (5) de réchauffage du gaz de cycle détendu, le mécanisme de compression du gaz de cycle comprenant au moins deux étages (20) de compression disposés en série, le mécanisme de détente comprenant au moins deux turbines (22) de détente, le circuit (3) de fluide à refroidir possédant, au niveau de son extrémité amont, au moins un étage (13) de compression du gaz d'alimentation, caractérisée en ce que le circuit (3) de fluide à refroidir possède, au niveau de son extrémité amont, plusieurs étages (13) de compression du gaz d'alimentation disposés en série, et en ce que des turbines (22) du circuit (12) de cycle sont accouplées (122) mécaniquement respectivement aux étages (13) de compression du gaz d'alimentation en série pour fournir du travail mécanique produit lors de la détente, le mécanisme de détente comprenant plusieurs turbines (22) de détente disposées en série d'amont en aval et en ce que, les turbines (22) en série sont accouplées respectivement avec des étages de compression (13) en série pris dans l'ordre inverse de leur disposition en série, c'est-à-dire que, au moins une turbine (22) est accouplée avec un étage de compression (13) située en amont d'un étage de compression (13) accouplé à une autre turbine (22) qui la précède.

[Revendication 2] Installation selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'étage (13) de compression du gaz d'alimentation est du type à compresseur

centrifuge.

[Revendication 3] Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 2, caractérisée en ce que le fluide du circuit (3) de fluide à refroidir transitant dans les étages de compression (13) est de nature ou composition différente du fluide circulant dans les turbine (22) respectivement accouplées, par exemple respectivement de l'hydrogène ayant des proportions Ortho/Para différentes.

[Revendication 4] Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisée en ce qu'une partie seulement des turbines (22) de détente sont accouplées avec des étages de compression (13) du gaz d'alimentation.

[Revendication 5] Installation selon la revendication 4, caractérisée en ce que le mécanisme de compression du gaz de cycle comprend au moins deux étages (20) de compression de type centrifuge, au moins une turbine (22) de détente étant accouplée avec un de ces étages de compression (20) du mécanisme de compression du gaz de cycle.

[Revendication 6] Installation selon la revendication 5, caractérisée en ce qu'elle est configurée pour que, en fonctionnement, les pressions d'entrée des turbines (22) soient distinctes, et en ce que la au moins une turbine (22) de détente accouplée avec un de ces étages de compression (20) du mécanisme de compression du gaz de cycle a une pression d'entrée qui est relativement plus élevée que la pression d'entrée de la au moins une turbine (22) accouplée (122) à un étage (13) de compression du gaz d'alimentation.

[Revendication 7] Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisée en ce que la au moins une turbine (22) de détente est de type centripète et/ou le ou les étages (13) de compression du gaz d'alimentation à compresseur à roue tournante est du type centrifuge.

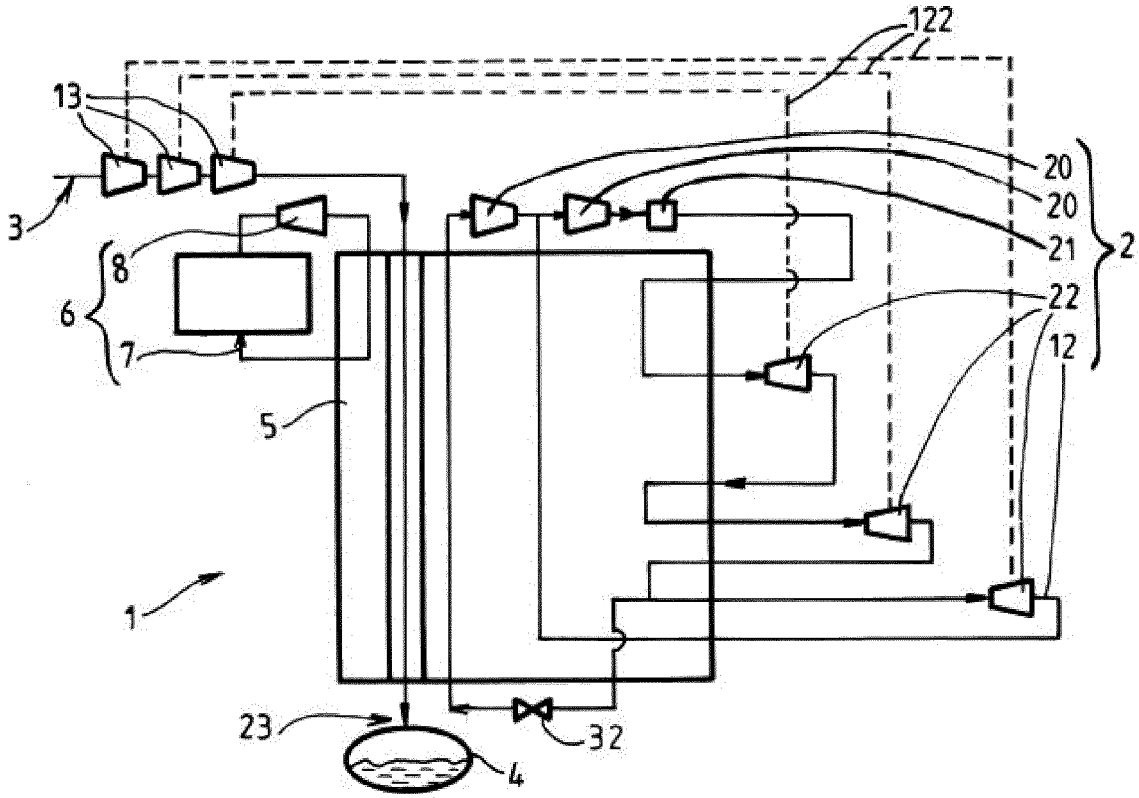
[Revendication 8] Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisée en ce que plusieurs étages de compression sont accouplés à une même turbine (22).

[Revendication 9] Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisée en ce qu'elle comprend un système (6) de pré-refroidissement en échange thermique avec au moins une partie de l'ensemble d'échangeur(s) (5) de chaleur, ledit système (6) de pré-refroidissement comprenant un circuit (7) de fluide caloporteur tel que de l'azote liquide et/ou un réfrigérateur à circuit (7) de cycle d'un mélange de réfrigérants, le système (6) de pré-refroidissement

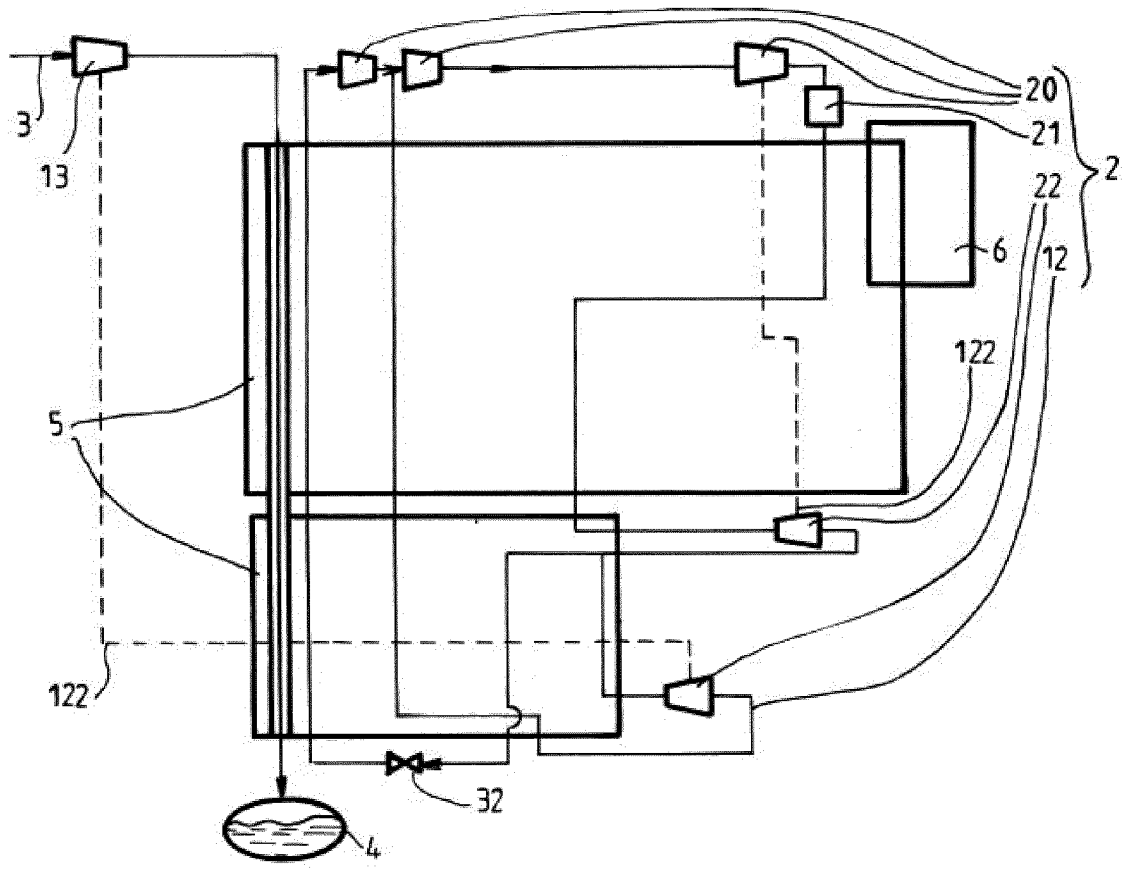
étant configuré pour refroidir le fluide circuit (3) de fluide à refroidir à une température intermédiaire entre la température du fluide au niveau de l'extrémité amont du circuit (3) et la température du fluide au niveau de l'extrémité aval du circuit (3).

[Revendication 10] Procédé de production de gaz liquéfié cryogénique, par exemple de l'hydrogène liquide, utilisant une installation selon l'une quelconque des revendications précédentes, le procédé comprenant une étape de compression d'un débit de gaz d'alimentation dans le au moins un étage (13) de compression du gaz d'alimentation, une étape (5) de refroidissement du gaz d'alimentation comprimé dans l'ensemble d'échangeur(s) de chaleur (5), dans lequel au moins une partie du travail de compression du gaz d'alimentation est fourni par au moins une turbine (22) du circuit de cycle.

[Fig. 1]


122
13
20
20
21
2
3
8
6
7
22
12
5
1
23
32
4

[Fig. 2]


20
21
2
3
13
22
12
6
122
5
122
32
4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2024/063685

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F25J 1/00(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	KR 20210072985 A (OSUNG FUEL CELL CO LTD [KR]; YUN SANG KUK [KR]) 18 June 2021 (2021-06-18) paragraph [0007]	1-10
Y	EP 2564139 B1 (COSTAIN OIL GAS & PROCESS LTD [GB]) 17 June 2020 (2020-06-17) figure 3	1-10
Y	JP H0668433 B2 (NIPPON OXYGEN CO LTD) 31 August 1994 (1994-08-31) figure 1	1-10
Y	US 10837700 B2 (LINDE AG [DE]) 17 November 2020 (2020-11-17) figure 1	9

☐ 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
14 August 2024	**30 August 2024**

Name and mailing address of the ISA/EP	Authorized officer
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**	**Schopfer, Georg** Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2024/063685

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
KR 20210072985 A	18 June 2021	NONE	
EP 2564139 B1	17 June 2020	AU 2011247081 A1	13 December 2012
		EP 2564139 A2	06 March 2013
		GB 2479940 A	02 November 2011
		WO 2011135335 A2	03 November 2011
JP H0668433 B2	31 August 1994	JP H0668433 B2	31 August 1994
		JP H02171579 A	03 July 1990
US 10837700 B2	17 November 2020	EP 3162871 A1	03 May 2017
		EP 3368631 A1	05 September 2018
		US 2018313604 A1	01 November 2018
		WO 2017072024 A1	04 May 2017

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2024/063685

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. F25J1/00
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	KR 2021 0072985 A (OSUNG FUEL CELL CO LTD [KR]; YUN SANG KUK [KR]) 18 juin 2021 (2021-06-18) alinéa [0007]	1-10

Y	EP 2 564 139 B1 (COSTAIN OIL GAS & PROCESS LTD [GB]) 17 juin 2020 (2020-06-17) figure 3	1-10

Y	JP H06 68433 B2 (NIPPON OXYGEN CO LTD) 31 août 1994 (1994-08-31) figure 1	1-10

Y	US 10 837 700 B2 (LINDE AG [DE]) 17 novembre 2020 (2020-11-17) figure 1	9

☐ 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	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
14 août 2024	30/08/2024

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	Schopfer, Georg

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/EP2024/063685

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
KR 20210072985 A	18-06-2021	AUCUN	
EP 2564139 B1	17-06-2020	AU 2011247081 A1	13-12-2012
		EP 2564139 A2	06-03-2013
		GB 2479940 A	02-11-2011
		WO 2011135335 A2	03-11-2011
JP H0668433 B2	31-08-1994	JP H0668433 B2	31-08-1994
		JP H02171579 A	03-07-1990
US 10837700 B2	17-11-2020	EP 3162871 A1	03-05-2017
		EP 3368631 A1	05-09-2018
		US 2018313604 A1	01-11-2018
		WO 2017072024 A1	04-05-2017