



(11)

EP 4 343 246 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

- (43)

Date de publication:
27.03.2024 Bulletin 2024/13
- (51)

Classification Internationale des Brevets (IPC):
F25J 1/00^(2006.01) F25J 1/02^(2006.01)
- (21)

Numéro de dépôt: 23187445.4
- (52)

Classification Coopérative des Brevets (CPC):
F25J 1/001; F25J 1/005; F25J 1/0052;
F25J 1/0062; F25J 1/0065; F25J 1/0067;
F25J 1/0072; F25J 1/0205; F25J 1/0214;
F25J 1/0215; F25J 1/0265; F25J 2250/02
- (22)

Date de dépôt: 25.07.2023

- (84)

Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN
- (72)

Inventeurs:

• VANDROUX, Emeline
94503 CHAMPIGNY-SUR-MARNE (FR)

• MARTIN, Florian
38360 SASSENAGE (FR)

• GRANADOS, Ludovic
94503 CHAMPIGNY-SUR-MARNE (FR)

• BERNHARDT, Jean-Marc
38360 SASSENAGE (FR)
- (30)

Priorité: 26.09.2022 FR 2209712
- (71)

Demandeur: L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME
POUR L'ETUDE ET
L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES
CLAUDE
75007 Paris (FR)
- (74)

Mandataire: Air Liquide
L'Air Liquide S.A.
Direction de la Propriété Intellectuelle
75, Quai d'Orsay
75321 Paris Cedex 07 (FR)

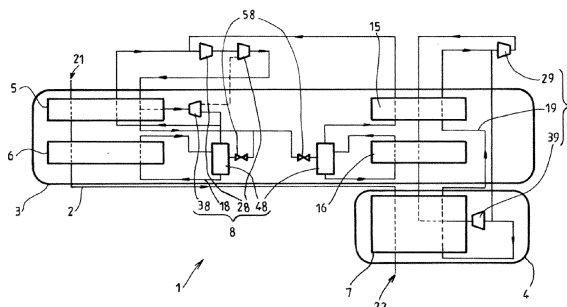
(54)

INSTALLATION ET PROCÉDÉ DE PRODUCTION D'UN FLUIDE CRYOGÉNIQUE

- (57)

L'invention concerne une installation et un procédé de production d'un fluide cryogénique, en particulier de l'hydrogène liquéfié, comprenant, 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 et un dispositif (9) de refroidissement cryogénique configuré pour refroidir le circuit (2) de gaz à refroidir à une seconde température déterminée
- inférieure à la première température, , 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) de la première partie 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

[FIG.1]



Description

[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 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, 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 comportant 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 contrôlée 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. Cette solution connue nécessite de prévoir des échangeurs de chaleur de grande taille dans la boîte froide de pré-refroidissement. La boîte froide correspondante est volumineuse. De plus, l'efficacité énergétique n'est pas optimale.

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

[0006] A cette fin, l'installation selon l'invention, par ailleurs conforme à la définition générique qu'en donne le préambule ci-dessus, est essentiellement caractérisée en ce que l'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) de la première partie 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.

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

- le ou les premiers échangeurs de chaleur de cycle comprennent au moins un échangeur de chaleur en échange thermique avec un flux de fluide de pré-refroidissement du circuit sortant d'un thermosiphon,
- la première partie de l'ensemble d'échangeurs de chaleur de pré-refroidissement du circuit de gaz à refroidir, le ou les premiers échangeurs de chaleur de cycle et au moins une partie du dispositif de pré-refroidissement sont disposés dans une même première boîte froide,
- le dispositif de pré-refroidissement comprend, dans le circuit de fluide de pré-refroidissement, un ensemble de compresseur(s) composant le dispositif de compression du fluide de pré-refroidissement, un ensemble de turbine(s) de détente formant le dispositif de détente du fluide de pré-refroidissement et au moins un thermosiphon du fluide de pré-refroidissement comprenant une entrée et une sortie raccordées à une boucle du circuit de fluide de pré-refroidissement en échange thermique avec au moins un échangeur de chaleur de la première partie de l'ensemble d'échangeurs de pré-refroidissement du circuit de gaz à refroidir,
- le dispositif de pré-refroidissement comprend un thermosiphon du fluide de pré-refroidissement ayant une entrée et une sortie raccordées à une boucle du circuit de fluide de pré-refroidissement en échange thermique avec au moins un premier échangeur de chaleur de cycle,
- le thermosiphon comprenant une entrée et une sortie

raccordées à une boucle du circuit de fluide de pré-refroidissement en échange thermique avec au moins un échangeur de chaleur de la première partie de l'ensemble d'échangeurs de pré-refroidissement et le thermosiphon de fluide de pré-refroidissement ayant une entrée et une sortie raccordées à une autre boucle du circuit de fluide de pré-refroidissement en échange thermique avec au moins un premier échangeur de chaleur de cycle sont deux thermosiphons distincts disposés en parallèle dans le circuit de fluide de pré-refroidissement,

- le au moins un thermosiphon comporte au moins une entrée et au moins deux sorties, les deux sorties étant raccordées à deux portions distinctes du circuit de fluide de pré-refroidissement en échange thermique avec respectivement deux échangeurs de chaleur distincts,
- 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 d'hydrogène 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 seconde boîte froide distincte de la première boîte froide,
- le fluide de pré-refroidissement comprend ou est constitué de l'un parmi : de l'azote, un mélange du type « MRC », L'invention concerne également un procédé de production d'un fluide cryogénique, en particulier de l'hydrogène liquéfié, utilisant une installation selon l'une quelconque des caractéristiques ci-dessus ou ci-dessous, 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 une étape de refroidissement du gaz 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.

[0008] Selon d'autres particularités possibles :

- 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 thermi-

que avec un flux de fluide de pré-refroidissement du circuit sortant d'un thermosiphon, le thermosiphon fonctionnant à une pression entre 1,5 et 3,5 bara et à une température correspondante comprise entre 80,8K et 89,6K.

[0009] 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.

[0010] 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

[0011] 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 :

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

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

Description détaillée

[0012] Sur toutes les figures, les mêmes références se rapportent aux mêmes éléments.

[0013] 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.

[0014] 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.

[0015] 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. 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. 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.

[0016] 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.

[0017] 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 Liquéfaction Processes" ISBN978-82-471-1869-6.r , page 43 et 44). 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.

[0018] 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.

[0019] 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.

[0020] 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 contrôlée grâce à un flux de fluide de pré-refroidissement généré par un thermosiphon 48.

[0021] 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.

[0022] 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, une sortie du fluide verticale par rapport à l'axe de l'entrée.

[0023] Le dispositif 9 de refroidissement cryogénique comprend quant à lui réfrigérateur à cycle de réfrigération d'un gaz de cycle dans un circuit 19 de travail. Le gaz de cycle comprenant de préférence au moins l'un parmi: de l'hydrogène, de l'hélium, du néon.

[0024] 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).

[0025] 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.

[0026] 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 chaleurs, de préférence à contre-courant et assurant un échange thermique entre des flux relativement froid et chauds (pour assurer respectivement leur réchauffage et refroidissement)

[0027] 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. 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. 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.

[0028] C'est-à-dire que 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.

[0029] 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 contrôlée par un flux de fluide de pré-refroidissement généré par un thermosiphon 48 (de préférence un thermosiphon 48 distinct du thermosiphon 48 décrit précédemment qui assure le pré-refroidissement du circuit 2 de gaz).

[0030] Ainsi, et comme représenté, le thermosiphon 48 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 peuvent être distincts et par exemple disposés en parallèle et/ou en série dans le circuit 18 de fluide de pré-refroidissement.

[0031] 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.

[0032] 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).

[0033] Comme illustré, le ou les thermosiphons 48 peut 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.

[0034] Le thermosiphon 48 du fluide de pré-refroidissement a 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 premier échangeur de chaleur 15, 16 de cycle.

[0035] 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 48.

[0036] Le thermosiphon 48 relié à au moins un échangeur 16 permet de contrôler efficacement la température du fluide de cycle du réfrigérateur 9.

[0037] 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 le ou les thermosiphons 48. Dans le cas où l'installation comprend plusieurs thermosiphons 48, les pressions au sein des thermosiphons 48 peuvent être différentes. Le fluide de pré-refroidissement à basse pression produit par le ou les thermosiphons 48 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 les 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.

[0038] Cette configuration avec des échangeurs dis-

sociés 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.

[0039] L'utilisation d'un thermosiphon 48 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 du/de(s) thermosiphons 48. De plus, l'échange thermique peut être plus important dans les échangeurs dédiés 6, 16.

[0040] Comme illustré, le ou les échangeur(s) de chaleur 5, 6 configuré(s) de pré-refroidissement du circuit 2 de gaz à refroidir, le ou les premiers échangeurs 15, 16 de chaleur de cycle et au moins une partie 38, 48 du dispositif (8) de pré-refroidissement (éléments froids : turbine(s), thermosiphon(s), conduites froides, vanne(s) froides...) sont disposés dans une même première boîte froide 3 de pré-refroidissement.

[0041] Cette première boîte froide 3 est de préférence isolée thermiquement sous vide ou isolé thermiquement via de la perlite (ou autre isolant) et balayée d'un gaz tel que l'azote par exemple.

[0042] 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 seconde boîte froide 4 distincte de la première boîte froide 3 (isolée thermiquement sous vide ou autre). Cette seconde boîte 4 froide contient également de préférence les composants cryogéniques associés (turbine, vanne(s)...) .

[0043] Comme illustré, le dernier second échangeur 7 de chaleur de cycle peut être 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.

[0044] L'agencement avec les deux thermosiphons 48 en parallèle peut permettre de faire fonctionner ces deux thermosiphons à des pressions différentes afin que la perte de charge dans le cycle de pré-refroidissement (jusqu'à l'entrée du compresseur 28) soit identique dans les deux branches du circuit (du côté du circuit de pré-refroidissement en échange thermique 5, 6 avec le circuit

2 de gaz à refroidir et du côté de l'échange thermique 15, 16 avec cycle de liquéfaction des premiers échangeurs de cycle).

[0045] De plus, selon cet agencement, il est possible de baisser la pression du côté du thermosiphon 48 en échange thermique avec les premiers échangeurs 15, 16 de cycle du réfrigérateur. Ceci permet de pré-refroidir relativement un peu plus le gaz de cycle. Ceci permet d'améliorer la performance et le contrôle globale de l'installation

[0046] Le circuit 18 de fluide de pré-refroidissement comporte de préférence un ensemble de vanne(s) permettant de contrôler les pressions opératoires des deux thermosiphons 48 en parallèle. Par exemple deux vannes 58 contrôlent respectivement l'entrée de fluide dans les thermosiphons 48, par exemple des vannes de type Joule Thomson.

[0047] En variante ou en combinaison, une ou des vanne(s) peuvent être prévues dans le circuit 18 de fluide de pré-refroidissement en amont du ou des compresseurs 28 pour réguler la pression en entrée du dispositif de compression (pour faire en sorte que les flux des deux boucles du circuit reviennent bien à la même pression à l'entrée du compresseur 28 commun).

[0048] En variante ou en combinaison, le deuxième thermosiphon 48 (associé au premier échangeur 15 du réfrigérateur 9) peut être relié à un compresseur sub-atmosphérique configuré pour faire diminuer encore plus la pression en son sein.

[0049] La [Fig. 2] illustre cette variante avec un compresseur sub-atmosphérique 68 sur la conduite reliant le second thermosiphon 48 à l'entrée de l'organe 28 de compression.

[0050] Comme illustré en pointillés, un compresseur 28 peut être accouplé à une turbine 38 (turbocompresseur).

[0051] En variante ou en combinaison (non représentée), le flux alimentant le second thermosiphon 48 (relié aux échangeurs de chaleur 16 de cycle) est pré-refroidi par le premier thermosiphon 48 (associé aux échangeurs 6 de pré-refroidissement). C'est-dire que la conduite alimentant le second thermosiphon 48 échange thermiquement avant avec au moins un échangeur 6 de pré-refroidissement. Dans cette configuration, la distribution de puissance froide entre les deux cycles peut être modifiée. Le premier thermosiphon 48 (associé au pré-refroidissement) traitera par exemple plus de débit de fluide et plus de puissance de pré-refroidissement disponible.

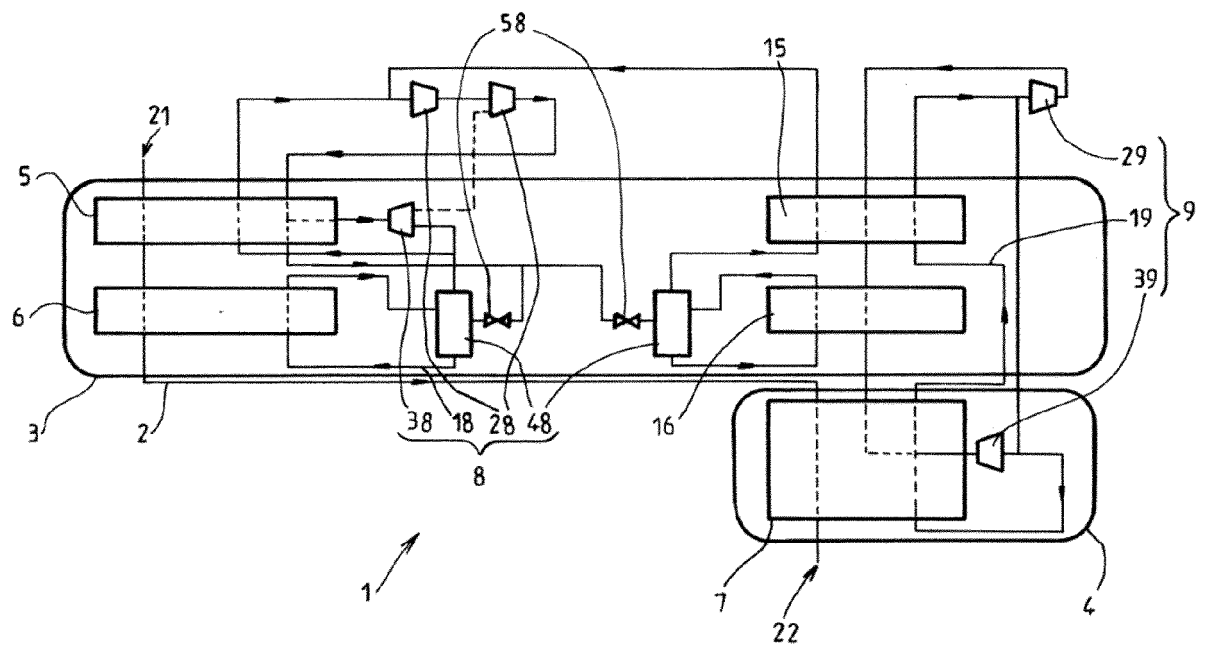
Revendications

1. Installation de production d'un fluide cryogénique, 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

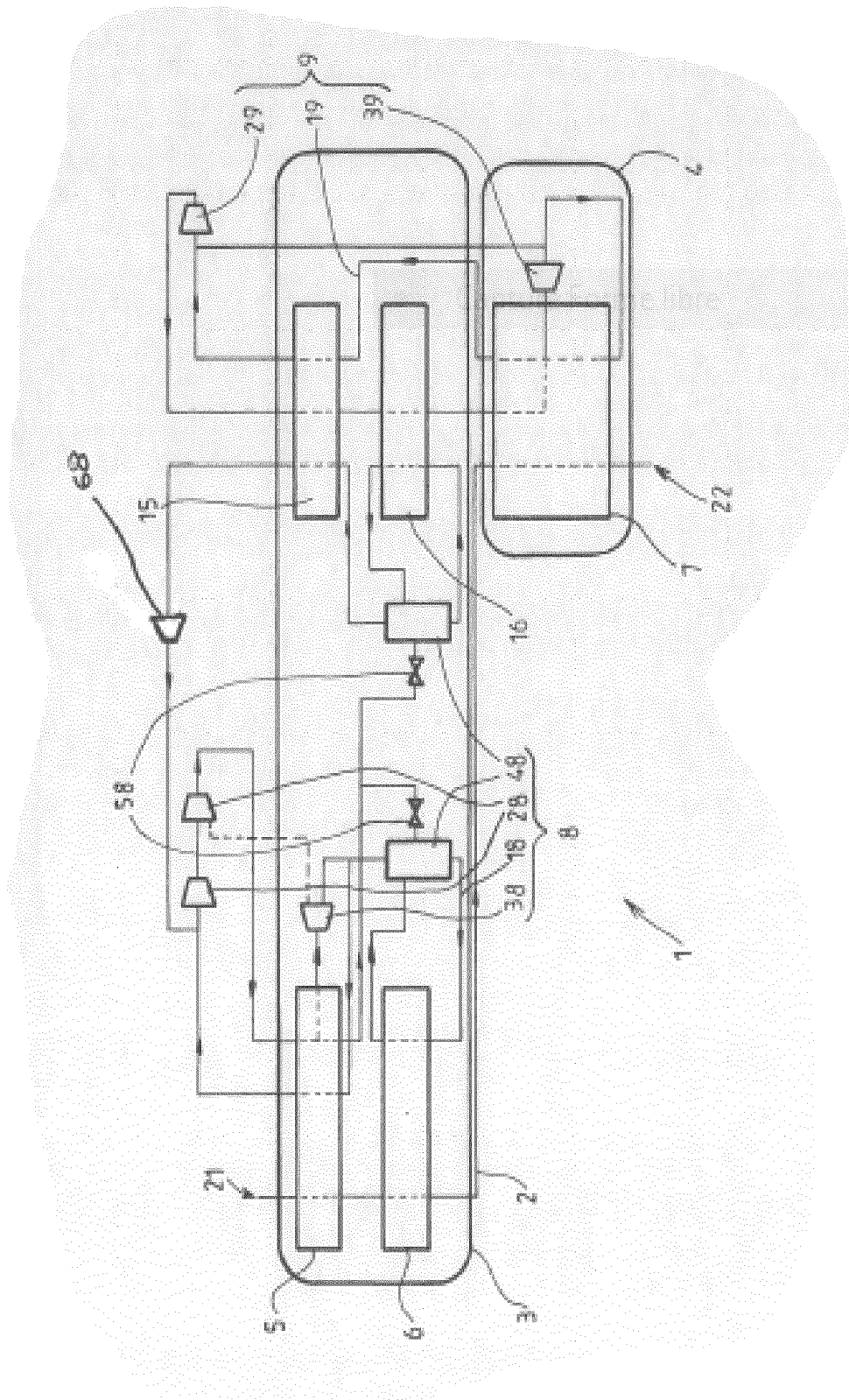
stockage cryogénique, l'installation (1) comprenant, disposés dans au moins une boîte froide (3, 4), un ensemble d'échangeurs (5, 6, 7) de chaleur en échange thermique avec le circuit (2) d'hydrogène à refroidir, l'installation (1) comprenant un dispositif (8) de pré-refroidissement en échange thermique avec au moins une première partie (5, 6) de l'ensemble d'échangeurs de chaleur et configuré pour pré-refroidir le circuit (2) de gaz à refroidir à une première température déterminée, l'installation (1) comprenant en outre un dispositif (9) de refroidissement cryogénique en échange thermique avec au moins une seconde partie (7) de l'ensemble d'échangeur(s) de chaleur et configuré pour refroidir le circuit (2) de gaz à refroidir à une seconde température déterminée inférieure à la première température, le dispositif (8) de pré-refroidissement comprenant un réfrigérateur à circuit (18) fermée de fluide de pré-refroidissement, le circuit (18) comportant un dispositif (28) de compression du fluide de pré-refroidissement, un dispositif de détente (38) du fluide de pré-refroidissement, au moins un thermosiphon (48) du 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, le dispositif (9) de refroidissement cryogénique comprenant 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) de la première partie 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, le dispositif (8) de pré-refroidissement comprenant, dans le circuit (18) de fluide de pré-refroidissement, un ensemble de compresseur(s) (28) composant le dispositif (28) de compression du fluide de pré-refroidissement, un ensemble de turbine(s) (38) de détente formant le dispositif de détente (38) du fluide de pré-refroidissement et au moins un thermosiphon (48) du fluide de pré-refroidissement comprenant 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 la première partie de

- l'ensemble d'échangeurs de pré-refroidissement du circuit (2) de gaz à refroidir, le dispositif (8) de pré-refroidissement comprenant également un thermosiphon (48) du fluide de pré-refroidissement ayant 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, dans lequel le thermosiphon (48) comprenant 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 la première partie de l'ensemble d'échangeurs de pré-refroidissement et le thermosiphon (48) de fluide de pré-refroidissement ayant une entrée et une sortie raccordées à une autre boucle du circuit (18) de fluide de pré-refroidissement en échange thermique avec au moins un premier échangeur de chaleur (15, 16) de cycle sont deux thermosiphons distincts disposés en parallèle dans le circuit (18) de fluide de pré-refroidissement.
2. Installation selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la première partie (5, 6) de l'ensemble d'échangeurs de chaleur de pré-refroidissement du circuit (2) de gaz à refroidir, le ou les premiers échangeurs (15, 16) de chaleur de cycle et au moins une partie (38, 48) du dispositif (8) de pré-refroidissement sont disposés dans une même première boîte froide (3).
 3. Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 2 **caractérisée en ce que** le au moins un thermosiphon (48) comporte 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 respectivement deux échangeurs de chaleur (5, 6, 15, 16) distincts.
 4. Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisée en ce que** la 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 du dispositif (9) de refroidissement cryogénique.
 5. Installation selon la revendication 4, **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.
 6. Installation selon l'une quelconque des revendications 4 ou 5, **caractérisée en ce que** le second échangeur (7) de chaleur de cycle est situé dans une seconde boîte froide (4) distincte de la première boîte froide (3).
 7. Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 **caractérisée en ce que** le circuit (18) de fluide de pré-refroidissement comporte un ensemble de vanne(s) (58) et/ou un compresseur configuré(s) pour de contrôler les pressions opératoires des deux thermosiphons (48) en parallèle à des pressions différentes et de préférence pour égaliser également les pressions flux des deux boucles du circuit provenant des thermosiphons et revenant du dispositif de compression (28) commun.
 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 **caractérisé en ce que** le fluide de pré-refroidissement comprend ou est constitué de l'un parmi : de l'azote, un mélange du type MRC (mélange de réfrigérants).
 9. Procédé de production d'un fluide 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 une étape de refroidissement du gaz 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.
 10. Procédé selon la revendication 9 **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 thermosiphon (48), le thermosiphon fonctionnant à une pression entre 1,5 et 3,5 bara et à une température correspondante comprise entre 80,8K et 89,6K.

[FIG.1]



[FIG.2]





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 23 18 7445

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	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	1-10	INV. F25J1/00 F25J1/02
Y	* figure 5 *	2, 3, 5-7	
X	US 3 380 809 A (NEWTON CHARLES L) 30 avril 1968 (1968-04-30)	1, 4, 5, 7-10	
Y	* figures *	2, 3, 6, 7	
X	JP 2004 210597 A (TOSHIBA CORP) 29 juillet 2004 (2004-07-29)	1, 4-6, 8-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
Y	* figures 3, 6, 14, 15 *	2, 3, 5, 6	F25J
X	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, 4, 8-10	
Y	* figure 1 *	2, 3, 5-7	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 25 janvier 2024	Examineur Göritz, Dirk
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.****EP 23 18 7445**

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

25-01-2024

10	Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
15	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

20	JP 2004210597 A	29-07-2004	AUCUN	

25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0460

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82