



(11) **EP 2 936 006 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
08.11.2017 Bulletin 2017/45

(51) Int Cl.:
F25B 9/00 (2006.01) **F25B 9/10** (2006.01)
F25J 1/02 (2006.01) **F25J 1/00** (2006.01)
F25B 40/02 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **13803115.8**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2013/052683

(22) Date de dépôt: **08.11.2013**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2014/096585 (26.06.2014 Gazette 2014/26)

(54) **DISPOSITIF DE RÉFRIGÉRATION ET/OU DE LIQUÉFACTION ET PROCÉDÉ CORRESPONDANT**
KÜHLANLAGE UND/ODER VERFLÜSSIGUNGSANLAGE UND VERFAHREN DAFÜR
REFRIGERATION AND/OR LIQUEFACTION DEVICE AND METHOD THEREOF

(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 MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorité: **18.12.2012 FR 1262186**

(43) Date de publication de la demande:
28.10.2015 Bulletin 2015/44

(73) Titulaire: **L'Air Liquide Société Anonyme pour**
l'Etude et
l'Exploitation des Procédés Georges Claude
75007 Paris (FR)

(72) Inventeurs:
• **BERNHARDT, Jean-Marc**
38500 La Buisse (FR)

- **DURAND, Fabien**
38340 Voreppe (FR)
- **HELOIN, Vincent**
38360 Sassenage (FR)
- **BARJHOUX, Pierre**
38700 La Tronche (FR)
- **FLAVIEN, Gilles**
38000 Grenoble (FR)

(74) Mandataire: **De Cuenca, Emmanuel Jaime**
L'Air Liquide S.A.
Direction Propriété Intellectuelle
75 Quai d'Orsay
75321 Paris Cedex 07 (FR)

(56) Documents cités:
WO-A1-2011/110768 WO-A1-2011/117499
FR-A1- 2 919 713 US-A1- 2009 094 992

EP 2 936 006 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention concerne un dispositif de réfrigération et/ou de liquéfaction ainsi qu'un procédé correspondant.

[0002] L'invention concerne un dispositif de réfrigération et/ou liquéfaction d'un gaz de travail comprenant de l'hélium ou constitué d'hélium pur, le dispositif comprenant un circuit de travail en boucle pour le gaz de travail comportant, en série :

- une station de compression du gaz de travail munie d'au moins un compresseur,
- une boîte froide pour refroidir le gaz de travail comprenant une pluralité d'échangeurs de chaleur disposés en série et au moins un organe de détente du gaz de travail,
- un système d'échange thermique entre le gaz de travail refroidi et un utilisateur,

au moins une conduite de retour dans la station de compression pour le gaz de travail ayant transité dans le système d'échange thermique, la conduite de retour comprenant au moins un échangeur de réchauffage du gaz de travail, le dispositif comprenant en outre un système de pré-refroidissement additionnel du gaz de travail en sortie de la station de compression, le système de pré-refroidissement comprenant au moins une capacité de fluide cryogénique auxiliaire tel que de l'azote liquide, la capacité étant reliée au circuit de travail via au moins un échangeur de chaleur pour transférer sélectivement des frigories du fluide auxiliaire vers le gaz de travail, la boîte froide comprenant un premier étage de refroidissement du gaz de travail comportant un premier échangeur disposé à la sortie de la station de compression ainsi qu'un second échangeur de chaleur.

[0003] L'invention concerne notamment les réfrigérateurs/liquéfacteurs à hélium générant des températures très basses (par exemple 4,5K pour le cas de l'hélium) en vue de refroidir en continu des utilisateurs tels que des câbles supraconducteurs ou des organes d'un dispositif de génération de plasma (« TOKAMAK »). Par dispositif de réfrigération/liquéfaction, on désigne notamment les dispositifs de réfrigération et/ou les dispositifs de liquéfaction à très basse température (températures cryogéniques) refroidissant et liquéfiant le cas échéant un gaz à faible masse molaire tel que de l'hélium.

[0004] Les documents WO2011110768 A1 et WO201117499 A1 décrivent des procédés de réfrigération en charge pulsée d'un organe d'un « Tokamak » dans lequel l'augmentation de la puissance de réfrigération produite par le dispositif de réfrigération est déclenchée automatiquement en réponse à un signal produit lors d'une étape de démarrage d'un plasma dans le Tokamak.

[0005] Le document US2009094992 A1 décrit un refroidisseur cryogénique pour liquéfier du gaz dans le col d'un cryostat.

[0006] Lors de la mise en froid de l'utilisateur, c'est-à-dire lorsque l'utilisateur doit être amené d'une température de départ relativement élevée (par exemple 300K ou au-dessus) jusqu'à une température basse déterminée de fonctionnement nominal (par exemple autour de 80K). Le dispositif de réfrigération/liquéfaction est généralement peu adapté à une telle mise en froid.

[0007] En effet, lors de la mise en froid de composants lourds (comme des aimants supra-conducteurs par exemple) de la température ambiante jusqu'à 80K sur une grande période (pendant quelques dizaines de jours), des flux d'hélium relativement chaud et froid (alimentation en direction de l'utilisateur et retour de l'utilisateur) transitent à contre-courant dans des échangeurs communs. Pour le bon fonctionnement du dispositif, il est cependant nécessaire de limiter l'écart de température entre ces flux d'hélium (par exemple entre 40K et 50K d'écart au maximum).

[0008] A cet effet le dispositif comporte un système de pré-refroidissement auxiliaire qui fournit des frigories pendant cette mise en froid.

[0009] Comme illustré notamment dans l'article (« Solutions for liquid nitrogen pre-cooling in helium refrigeration cycles » de U. Wagner du CERN - 2000), le système de pré-refroidissement comprend généralement une capacité d'azote liquide (à température constante, par exemple 80K) qui fournit des frigories au gaz de travail via au moins un échangeur de chaleur.

[0010] Ces systèmes connus de pré-refroidissement présentent cependant des contraintes ou inconvénients.

[0011] Ainsi, des mélanges de fluides sont nécessaires entre de l'hélium à 80K et de l'hélium plus chaud (à la température ambiante ou à la température de retour de l'utilisateur à refroidir).

[0012] Pour limiter la consommation d'azote liquide il est par ailleurs nécessaire de récupérer les frigories de l'hélium qui revient de l'utilisateur à refroidir au fur et à mesure de son refroidissement. Ces contraintes d'écart de température et de performance nécessitent des technologies d'échangeurs de chaleur différentes en fonction des différentes configurations de fonctionnement (mise en froid, fonctionnement normal).

[0013] Ainsi, pendant l'opération normale (hors de la phase de mise en froid), les échangeurs doivent être très performants, c'est-à-dire avoir de faibles pertes de charge et ne doivent pas être confrontés à des écarts de température importants. Les échangeurs de chaleurs adaptés pour ce fonctionnement normal comprennent des échangeurs de type en aluminium à plaque et ailettes brasées. Ce type d'échangeur ne peut typiquement accepter des écarts de température entre fluides à contre courant de plus 50 K.

[0014] Pendant la mise en froid d'utilisateurs massifs, la performance de l'échange thermique requis dans les échangeurs est moins importante mais reste élevée. En revanche, les écarts de température (du fait de l'azote liquide à température constante) deviennent relativement importants (supérieurs à 50K).

[0015] Lorsque les températures de l'hélium sont encore élevées dans les circuits et échangeurs, la perte de charge est bien supérieure à celle requise en fonctionnement normal.

[0016] Des solutions existantes pour résoudre ces problèmes nécessitent un échangeur principal à l'entrée de la boîte froide qui assure un échange thermique entre l'hélium et l'azote. D'autres solutions prévoient de scinder cet échangeur principal en plusieurs sections indépendantes réalisées dans des technologies d'échangeurs différentes selon la nature du fluide (hélium ou azote).

[0017] Ces solutions ne résolvent pas de façon satisfaisante les problèmes car le dispositif est soit mal adapté au fonctionnement normal, soit mal adapté à la phase de mise en froid.

[0018] Le document FR 2919713 A1, considéré l'art antérieur le plus proche, décrit un dispositif conforme au préambule de la revendication 1.

[0019] Un but de la présente invention est de pallier tout ou partie des inconvénients de l'art antérieur relevés ci-dessus.

[0020] A cette fin, le dispositif selon l'invention, par ailleurs conforme à la définition générique qu'en donne le préambule ci-dessus, est défini par la revendication 1. C'est-à-dire que le dispositif comporte le système de pré-refroidissement comprenant un troisième échangeur de chaleur, le premier échangeur de chaleur étant du type en aluminium à plaque et ailettes, le second échangeur de chaleur étant du type à tube(s) ou du type à plaques soudées, ce second échangeur de chaleur étant immergé dans un bain de fluide auxiliaire de refroidissement et en ce que les second et troisième échangeurs de chaleur sont raccordés à la fois en série et en parallèle sur le circuit de travail en aval du premier échangeur de chaleur, c'est-à-dire que le gaz de travail refroidi dans le premier échangeur de chaleur peut être admis sélectivement dans le second et/ou dans le troisième échangeur de chaleur, et en ce que le second échangeur de chaleur est immergé dans une première capacité de gaz auxiliaire liquéfié.

[0021] Par ailleurs, des modes de réalisation de l'invention peuvent comporter l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- le second échangeur de chaleur est l'un parmi : un échangeur de chaleur de type à tubes en inox ou aluminium, un échangeur de chaleur de type à tube à ailettes en inox ou aluminium, un échangeur à plaques soudées en inox,
- le circuit comprend une branche de by-pass sélectif du troisième échangeur de chaleur permettant sélectivement au gaz de travail issu du premier et/ou du second échangeur de chaleur d'éviter le troisième échangeur de chaleur dans le circuit de travail,
- le dispositif comporte une première conduite d'évacuation de fluide auxiliaire vaporisé reliant une extrémité supérieure de la première capacité à un sys-

tème de récupération de fluide auxiliaire déporté via un passage dans le premier échangeur de chaleur,

- la première conduite d'évacuation de fluide auxiliaire vaporisé comprend une branche de by-pass sélectif du premier échangeur de chaleur,
- le troisième échangeur est du type à échange de chaleur sélectif entre le gaz de travail et le fluide auxiliaire, le dispositif comprenant une conduite d'alimentation sélectif reliant la première capacité au troisième échangeur de chaleur, pour transférer des frigories du fluide auxiliaire vers le gaz de travail dans le troisième échangeur de chaleur,
- le dispositif comporte une seconde capacité de fluide sélectivement alimentée en fluide auxiliaire par une source de fluide auxiliaire et en ce que le troisième échangeur de chaleur est immergé dans ladite seconde capacité pour permettre un échange de frigories entre le gaz de travail et le fluide auxiliaire de la seconde capacité,
- le dispositif comporte une seconde conduite d'évacuation de fluide auxiliaire vaporisé reliant une extrémité supérieure de la seconde capacité à un système de récupération de fluide auxiliaire déporté via un passage dans le premier échangeur de chaleur,
- la seconde conduite d'évacuation de fluide auxiliaire vaporisé comprend une branche de by-pass sélectif du premier échangeur de chaleur,
- le second et le troisième échangeurs de chaleur sont raccordés via un réseau de conduites et de vannes formant la liaison en parallèle et la liaison en série entre les deux échangeurs de chaleur ainsi qu'une ligne de by-pass (c'est-à-dire de dérivation) du second échangeur de chaleur,
- la première capacité est sélectivement alimentée en fluide auxiliaire via une conduite d'amenée reliée à une source de fluide auxiliaire et munie d'une vanne,
- le premier échangeur de chaleur est du type à échange de chaleur entre des flux différents de gaz de travail à des températures respectives différentes et comprend un premier passage alimentée en gaz de travail dit chaud et à haute pression sortant de la station de compression, un second passage à contre-courant du premier passage et alimenté par la conduite de retour en gaz de travail dit froid et à basse pression et un troisième passage à contre-courant du premier passage et alimenté en gaz de travail dit à moyenne pression via une conduite de renvoi du circuit de travail renvoyant du gaz de travail à partir de la boîte froide n'ayant pas transité dans le système d'échange thermique,

[0022] L'invention concerne également un procédé de refroidissement selon la revendication 10 d'un utilisateur utilisant un dispositif de réfrigération et/ou de liquéfaction d'un gaz de travail conforme à l'une quelconque des revendications 1-9, dans lequel, l'utilisateur est refroidi via le système d'échange thermique. Dans un mode de développement le procédé comporte une étape de pré-re-

froidissement de l'utilisateur ayant une température initiale comprise entre 250K et 400K dans laquelle le gaz de travail sortant de la station de compression est refroidi par échange thermique dans le premier échangeur de chaleur puis est subdivisé en deux flux dont un premier flux est refroidi dans le second échangeur de chaleur puis dans le troisième échangeur de chaleur et un deuxième flux est refroidi directement dans le troisième échangeur de chaleur, le fluide auxiliaire vaporisé dans la première capacité étant évacué sans céder des frigories au premier échangeur de chaleur. Dans un autre mode de développement le procédé comporte une étape de pré-refroidissement de l'utilisateur ayant une température initiale comprise entre 250K et 150K dans laquelle le gaz de travail sortant de la station de compression est refroidi par échange thermique dans le premier échangeur de chaleur puis dans le second échangeur de chaleur puis est scindé en deux flux dont un premier flux est refroidi dans le troisième échangeur de chaleur et un second flux évite le troisième échangeur, le troisième échangeur étant alimenté en fluide auxiliaire pour transférer des frigories du fluide auxiliaire au gaz de travail dans le troisième échangeur, le fluide auxiliaire vaporisé dans la première capacité et/ou au contact du troisième échangeur étant évacué sans céder des frigories au premier échangeur de chaleur. Dans un autre mode de développement le procédé comporte une étape de pré-refroidissement de l'utilisateur ayant une température initiale comprise entre 150K et 95K dans laquelle le gaz de travail sortant de la station de compression est refroidi par échange thermique dans le premier échangeur de chaleur puis dans le second échangeur de chaleur puis dans le troisième échangeur de chaleur, au moins une partie du fluide auxiliaire vaporisé dans la première capacité et/ou au contact du troisième échangeur étant évacué en cédant des frigories au premier échangeur de chaleur. Dans un autre mode de développement le procédé comporte une étape de pré-refroidissement de l'utilisateur ayant une température initiale comprise entre 95K et 80K dans laquelle le gaz de travail sortant de la station de compression est refroidi par échange thermique dans le premier échangeur de chaleur puis uniquement dans le troisième échangeur de chaleur, le fluide auxiliaire vaporisé au contact du troisième échangeur étant évacué en cédant des frigories au premier échangeur de chaleur. Dans un autre mode de développement, après une phase de pré-refroidissement éventuel, le dispositif refroidit l'utilisateur selon un fonctionnement dit nominal dans lequel le gaz de travail sortant de la station de compression est refroidi par échange thermique dans le premier échangeur de chaleur puis uniquement dans le troisième échangeur de chaleur, le troisième échangeur étant alimenté en fluide auxiliaire pour transférer des frigories du fluide auxiliaire au gaz de travail dans le troisième échangeur et en ce le fluide auxiliaire vaporisé au contact du troisième échangeur est évacué en cédant des frigories au premier échangeur de chaleur.

[0023] D'autres particularités et avantages apparaî-

tront à la lecture de la description ci-après, faite en référence aux figures dans lesquelles :

- la figure 1 représente une vue simplifiée, schématique et partielle, illustrant la structure d'un dispositif de liquéfaction/réfrigération utilisé pour refroidir un organe utilisateur,
- la figure 2 représente de façon schématique et partielle, un premier exemple de structure et de fonctionnement d'un dispositif de liquéfaction/réfrigération utilisé pour refroidir un organe utilisateur,
- la figure 3 représente de façon schématique et partielle un détail de la boîte froide d'un dispositif de liquéfaction/réfrigération selon un second exemple de réalisation,
- les figures 4 à 7 représentent le détail de la figure 3 selon respectivement différentes configurations de fonctionnement distinctes.

[0024] Comme représenté à la figure 1, l'installation 100 peut comprendre, classiquement, un dispositif de réfrigération/liquéfaction comprenant un circuit de travail soumettant de l'hélium à un cycle de travail pour produire du froid. Le circuit de travail du dispositif de réfrigération 2 comprend une station 1 de compression munie d'au moins un compresseur 5 et de préférence plusieurs compresseurs qui assurent une compression de l'hélium.

[0025] En sortie de la station de la station 1 de compression, l'hélium entre dans une boîte 2 de froide pour le refroidissement de l'hélium. La boîte 2 froide comprend plusieurs échangeurs 5 de chaleur qui échangent thermiquement avec l'hélium pour refroidir ce dernier. De plus, la boîte 2 froide comprend une ou plusieurs turbines 7 pour détendre l'hélium compressé. De préférence, la boîte 2 froide fonctionne selon un cycle thermodynamique de type Brayton ou tout autre cycle approprié. Au moins une partie de l'hélium est liquéfié à la sortie de la boîte 2 froide et entre dans un système 14 d'échange thermique prévu pour assurer un échange thermique sélectif entre l'hélium liquide et un utilisateur 10 à refroidir. L'utilisateur 10 comprend par exemple un générateur de champ magnétique obtenu à l'aide d'un aimant supraconducteur et/ou une ou des unités de pompage par cryocondensation ou tout autre organe nécessitant un refroidissement à très basse température.

[0026] Comme schématisé à la figure 1, le dispositif comprend en outre, de façon connue en soit, un système de pré-refroidissement additionnel du gaz de travail en sortie de la station 2 de compression. Le système de pré-refroidissement comprend une capacité 3 de fluide cryogénique auxiliaire tel que de l'azote liquide. La capacité 3 est reliée au circuit de travail via au moins un échangeur de chaleur pour transférer sélectivement des frigories du fluide auxiliaire vers le gaz de travail.

[0027] Par exemple, la capacité 3 peut être alimentée en fluide auxiliaire via une conduite 113 d'amenée reliée à une source de fluide auxiliaire (non représentée) et munie d'une vanne 23 (cf. figure 3).

[0028] Dans l'exemple plus détaillé de la figure 2, la station 1 de compression comporte deux compresseurs 11, 12 en série définissant par exemple trois niveaux de pression pour l'hélium. Comme schématisé, la station 2 de compression peut comporter également des organes 8 de purification de l'hélium.

[0029] A la sortie de la station 1 de compression, l'hélium est admis dans une boîte 2 froide dans laquelle cet hélium est refroidi par échange thermique avec plusieurs échangeurs 5 et est dans laquelle il est détendu dans des turbines 7.

[0030] L'hélium liquéfié dans la boîte 2 froide peut être stocké dans une réserve 14 munie d'un échangeur 144 destiné à échanger thermiquement avec l'utilisateur 10 à refroidir (par exemple via un circuit muni d'une pompe). Ce système 14 d'échange thermique entre l'hélium et l'utilisateur 10 peut comporter toute autre structure appropriée.

[0031] L'hélium à basse pression ayant transité dans le système 14 d'échange thermique est renvoyé vers la station 1 de compression via une conduite 9 de retour en vue de recommencer un cycle de travail. Lors de ce retour, l'hélium relativement froid cède des frigories aux échangeurs 5 de chaleur et de cette façon assure le refroidissement de l'hélium relativement chaud qui circule en sens inverse dans la boîte 2 froide avant d'atteindre l'utilisateur 10.

[0032] Comme illustré, le circuit de travail peut comporter une conduite 19 de renvoi renvoyant vers la station 1 de compression de l'hélium de la boîte froide 2 n'ayant pas transité dans le système 14 d'échange thermique.

[0033] Comme visible à la figure 2, le dispositif comprend un système de pré-refroidissement comprenant une capacité 3 de fluide cryogénique auxiliaire tel que de l'azote liquide à une température de 80K par exemple.

[0034] La boîte 2 froide comprend un premier étage de refroidissement de l'hélium qui reçoit l'hélium dès sa sortie de la station 1 de compression.

[0035] Ce premier étage de refroidissement comporte un premier 5 échangeur de chaleur, un second 15 échangeur de chaleur ainsi qu'un troisième 25 échangeur de chaleur.

[0036] Le premier 5 échangeur de chaleur est de préférence du type en aluminium à plaque et ailettes brasées. Un tel échangeur est par exemple conforme aux recommandations de l'ALPEMA (Association des Fabricants d'Echangeurs à Plaques et Ondes en Aluminium brasées).

[0037] Le premier 5 échangeur de chaleur est par exemple du type à échange de chaleur entre des flux différents d'hélium à des températures respectives différentes. Le premier 5 échangeur peut comporter un premier passage alimentée 6 en gaz de travail dit chaud et à haute pression sortant directement de la station 1 de compression, un second passage à contre-courant du premier passage et alimenté par la conduite 9 de retour en gaz de travail dit froid et à basse pression et un troisième passage à contre-courant du premier passage et

alimenté en gaz de travail dit à moyenne pression via une conduite 19 de renvoi. Comme décrit ci-après, le premier échangeur 5 comporte en outre une section de passage pour du fluide auxiliaire.

[0038] Les second 15 et troisième 25 échangeurs de chaleur sont raccordés à la fois en série et en parallèle sur le circuit de travail en aval du premier 5 échangeur de chaleur, c'est-à-dire que le gaz de travail refroidi dans le premier 5 échangeur de chaleur peut être admis sélectivement dans le second 15 et/ou dans le troisième 25 échangeur de chaleur.

[0039] Comme représenté plus en détail à la figure 3, le second 15 et le troisième 25 échangeurs de chaleur peuvent être raccordés à la fois en série et en parallèle au premier 5 échangeur de chaleur via un réseau de conduites 6, 16, 26, 250 et de vannes 116, 126, 326 formant une liaison en parallèle et une liaison en série entre les deux échangeurs 15, 25 de chaleur ainsi qu'une ligne 250 de by-pass (dérivation) du second 15 échangeur de chaleur.

[0040] Comme visible à la figure 1, le second échangeur 15 de chaleur est de préférence du type à tube (par exemple en inox, en cuivre ou autre alliage compatible avec les températures cryogéniques) immergé dans un bain de fluide auxiliaire de refroidissement tel que de l'azote liquide à 80K. Plus précisément, le second échangeur de chaleur 15 est immergé dans une première capacité 3 d'azote liquide. Comme décrit précédemment, la première capacité 3 peut être alimentée en fluide auxiliaire via une conduite 113 d'amenée reliée à une source de fluide auxiliaire (non représentée) et munie d'une vanne 23.

[0041] Bien entendu l'invention n'est pas limitée à cet exemple de réalisation. Ainsi, par exemple, ce second échangeur 15 de chaleur immergé peut être un échangeur de chaleur en inox ou autre métal ou alliage à plaque soudées, c'est-à-dire un échangeur dont la technologie est connue en anglais sous la dénomination « Plate and Shell ». Ces types d'échangeurs de chaleur constituant le second échangeur 15 de chaleur sont conformés pour supporter sans inconvénient des écarts de températures relativement importants entre les différentes configurations d'utilisation (immergée/non immergée), par exemple des écarts de températures compris entre 60K et 250K.

[0042] Le dispositif comporte une première conduite 30 d'évacuation de fluide auxiliaire vaporisé reliant une extrémité supérieure de la première 3 capacité à un système de récupération de fluide auxiliaire déporté via un passage dans le premier 5 échangeur de chaleur. Cette première conduite 30 d'évacuation de fluide auxiliaire vaporisé comprend également une branche 130 de dérivation (by-pass) sélectif du premier 5 échangeur de chaleur via un système de vannes 230, 430.

[0043] Le troisième échangeur 25 de chaleur est de préférence un échangeur en aluminium du type à plaque et ailettes. Le troisième échangeur 25 est du type à échange de chaleur sélectif entre l'hélium et l'azote. A

cet effet, et comme visible à la figure 2, le dispositif peut comporter une conduite 13 d'alimentation munie d'au moins une vanne (non représentée) reliant (par exemple en boucle) la première capacité 3 au troisième échangeur 25 de chaleur, pour transférer sélectivement des frigories du fluide auxiliaire vers le gaz de travail dans le troisième 25 échangeur de chaleur.

[0044] La figure 3 illustre une variante de réalisation du premier étage de refroidissement du dispositif. La forme de réalisation de la figure 3 se distingue de celle de la figure 2 uniquement en ce que le troisième échangeur de chaleur 25 est cette fois immergé dans une seconde capacité 33 de fluide auxiliaire (au lieu d'être alimenté en fluide auxiliaire à partir de la première capacité 3 ou à partir d'une source). Comme illustré à la figure 3, cette seconde capacité 33 de fluide peut être un réservoir cryogénique sélectivement alimenté en fluide auxiliaire par une source de fluide auxiliaire. Le troisième échangeur 25 de chaleur est immergé dans ladite seconde capacité 33 pour permettre le cas échéant un échange de frigories entre le gaz de travail et le fluide auxiliaire de la seconde capacité 33.

[0045] La seconde capacité 33 auxiliaire comporte également une seconde conduite 330 d'évacuation de fluide auxiliaire vaporisé reliant une extrémité supérieure de la seconde 30 capacité à un système de récupération de fluide auxiliaire déporté via un passage dans le premier 5 échangeur de chaleur. Par exemple, la seconde conduite 330 d'évacuation se raccorde à la première conduite 30 d'évacuation de fluide auxiliaire, en amont du premier échangeur 5. C'est-à-dire que le fluide auxiliaire vaporisé dans la seconde capacité 33 peut être réparti entre un passage dans le premier échangeur 5 et/ou la ligne 130 de by-pass évitant ce premier 5 échangeur de chaleur.

[0046] Les figures 4 à 7 illustrent respectivement quatre configurations distinctes pouvant être utilisées lors d'une succession d'un exemple de fonctionnement possible du dispositif.

[0047] Dans une première phase de mise en froid d'un utilisateur 10 illustrée à la figure 4, l'hélium sortant de la station 1 de compression est refroidi par échange thermique dans le premier 5 échangeur de chaleur puis l'hélium refroidi est subdivisé en deux flux (vannes 116 et 126 ouvertes). Un premier de ces deux flux est refroidi dans le second 15 échangeur de chaleur puis passe dans le troisième 25 échangeur de chaleur sans échange thermique (vanne 233 fermée). Le deuxième flux ne passe pas dans le second 15 échangeur de chaleur et est mélangé avec le premier flux sortant du second échangeur 15 de chaleur avant de passer dans le troisième 25 échangeur de chaleur.

[0048] Dans cette première phase, la première capacité 3 est alimentée en fluide auxiliaire (azote) et l'azote vaporisé est évacué par la conduite 30 d'évacuation et la branche 130 de by-pass sans céder des frigories au premier échangeur 5 de chaleur (vanne 230 ouverte dans la branche de dérivation 130 et vanne 430 fermée pour

le passage dans le premier échangeur 5).

[0049] Ceci peut correspondre au début d'une opération de mise en froid d'un utilisateur initialement à une température comprise entre 400K et 250K. Durant cette première phase, la température de l'hélium peut être :

- environ égale à 300K à la sortie du premier 5 échangeur de chaleur,
- environ égale à 250K à la sortie du troisième 25 échangeur de chaleur.

[0050] Dans une seconde phase de mise en froid d'un utilisateur 10 illustrée à la figure 5, l'hélium sortant de la station 1 de compression peut être refroidi par échange thermique dans le premier 5 échangeur de chaleur puis dans le second 15 échangeur de chaleur (vanne 116 ouverte et vanne 126 fermée). L'hélium est ensuite scindé en deux flux dont un premier flux est refroidi dans le troisième 25 échangeur de chaleur et un second flux qui transite par la ligne 250 de by-pass (ouverture de la vanne 326 dans la ligne 250 de by-pass).

[0051] La première 3 et la seconde capacité 33 sont alimentées en fluide auxiliaire via des conduites 113, 133 d'amenée respectives (vannes 213 et 233 correspondantes ouvertes). Les fluides auxiliaires vaporisés dans les capacités 3, 33 peuvent être évacués sans passer par le premier échangeur 5 de chaleur, c'est-à-dire via la branche 130 de by-pass (vanne 430 fermée et vanne 230 ouverte).

[0052] Ceci peut correspondre à une opération de mise en froid d'un utilisateur initialement à une température comprise entre 250K et 150K. Durant cette seconde phase, la température de l'hélium peut être :

- environ égale à 145K à la sortie du premier 5 échangeur de chaleur,
- environ égale à 120K à la sortie du deuxième 15 échangeur de chaleur.
- environ égale à 80K à la sortie du troisième 25 échangeur de chaleur,
- environ égale à 120K dans la branche 130 de by-pass et
- environ égale à 95K après la jonction aval de la branche 130 de by-pass.

[0053] Dans une troisième phase de mise en froid d'un utilisateur 10 illustrée à la figure 6, le gaz de travail sortant de la station 1 de compression peut être refroidi en série par échange thermique dans le premier 5 échangeur de chaleur puis dans le second 15 échangeur de chaleur puis dans le troisième 25 échangeur de chaleur (vanne 116 ouverte, vanne 126 fermée). Le fluide auxiliaire vaporisé dans les première 3 et seconde 33 capacités peut être évacué pour partie via le premier 5 échangeur de chaleur et pour partie via la branche 130 de by-pass (vanne 230 et 430 ouvertes).

[0054] Ceci peut correspondre à une opération de mise en froid d'un utilisateur initialement à une température

comprise entre 150K et 95K. Durant cette seconde phase, la température de l'hélium peut être :

- environ égale à 130K à la sortie du premier 5 échangeur de chaleur,
- environ égale à 100K à la sortie du deuxième 15 échangeur de chaleur.
- environ égale à 80K à la sortie du troisième 25 échangeur de chaleur.

[0055] Dans une quatrième phase de mise en froid d'un utilisateur 10 illustrée à la figure 7, le gaz de travail sortant de la station 1 de compression peut être refroidi en série par échange thermique dans le premier 5 échangeur de chaleur puis dans le troisième échangeur 25 de chaleur (sans passer par le second échangeur 15 de chaleur: vanne 116 fermée et vanne 126 ouverte). Seule la seconde capacité 33 peut être alimentée en fluide auxiliaire (vanne 213 fermée et vanne 233 ouverte). Le fluide auxiliaire vaporisé dans la seconde 33 capacité peut être évacué pour partie via le premier 5 échangeur de chaleur et pour partie via la branche 130 de by-pass (vanne 230 et 430 ouvertes).

[0056] Ceci peut correspondre à une opération de mise en froid d'un utilisateur initialement à une température comprise entre 95K et 80K. Durant cette seconde phase, la température de l'hélium peut être :

- environ égale à 95K à la sortie du premier 5 échangeur de chaleur,
- environ égale à 80K à la sortie du troisième 25 échangeur de chaleur.

[0057] Enfin, lorsque l'utilisateur 10 a atteint la température basse déterminée de fonctionnement dit normal, le dispositif peut assurer un refroidissement continu (maintien en froid à la température déterminée) avec le même dispositif.

[0058] Durant ce refroidissement continu, le dispositif peut fonctionner également selon la configuration de la figure 7. C'est-à-dire que le gaz de travail sortant de la station 1 de compression peut être refroidi en série par échange thermique dans le premier 5 échangeur de chaleur puis dans le troisième échangeur 25 de chaleur (sans passer par le second échangeur 15 de chaleur) et seule la seconde capacité 33 peut être alimentée en fluide auxiliaire. Le fluide auxiliaire vaporisé dans la seconde 33 capacité peut être évacué via le premier 5 échangeur de chaleur (vanne 230 fermée et vanne 430 ouvertes).

[0059] Durant ce mode de fonctionnement, la température de l'hélium peut être :

- environ égale à 90K à la sortie du premier 5 échangeur de chaleur,
- environ égale à 80K à la sortie du troisième 25 échangeur de chaleur.

[0060] Les architectures décrites ci-dessus permettent

ainsi de mettre en froid un composant massif d'une température relativement chaude (par exemple 400K à une température relativement basse (par exemple 80K) avec un nombre d'équipements réduit.

[0061] L'utilisation de deux échangeurs de type en aluminium à plaque et ailettes (premier 5 et troisième 25 échangeur de chaleur) et d'un échangeur de chaleur du type à tube (second échangeur 15) permet d'optimiser le fonctionnement du dispositif pour les phases de fonctionnement différentes que sont le pré-refroidissement et le fonctionnement dit normal (après pré-refroidissement).

[0062] Ces configurations permettent notamment de disposer le second échangeur de chaleur 15 en dehors de la boîte froide 2 et donc également la première capacité 3.

[0063] Un autre avantage procuré par le dispositif est de limiter les entrées de chaleur sur le gaz de travail en opération normal par isolation des circuits et équipements utilisés uniquement pour la mise en froid. Ces équipements peuvent être installés en dehors de la boîte froide et cela réduit également la taille et le coût de l'enceinte de la boîte froide.

Revendications

1. Dispositif de réfrigération et/ou liquéfaction d'un gaz de travail comprenant de l'hélium ou constitué d'hélium pur, le dispositif comprenant un circuit de travail en boucle pour le gaz de travail comportant, en série :

- une station (1) de compression du gaz de travail munie d'au moins un compresseur (11, 12),
- une boîte froide (2) pour refroidir le gaz de travail comprenant une pluralité d'échangeurs (5) de chaleur disposés en série et au moins un organe (7) de détente du gaz de travail,
- un système (14) d'échange thermique entre le gaz de travail refroidi et un utilisateur (10),
- au moins une conduite de retour (9) dans la station de compression (1) pour le gaz de travail ayant transité dans le système (14) d'échange thermique, la conduite (9) de retour comprenant au moins un échangeur (5) de réchauffage du gaz de travail, le dispositif comprenant en outre un système de pré-refroidissement additionnel du gaz de travail en sortie de la station (1) de compression, le système de pré-refroidissement comprenant au moins une capacité (3) de fluide cryogénique auxiliaire tel que de l'azote liquide, la capacité (3) étant reliée au circuit de travail via au moins un échangeur de chaleur pour transférer sélectivement des frigories du fluide auxiliaire vers le gaz de travail, la boîte froide (2) comprenant un premier étage de refroidissement du gaz de travail comportant un

- premier (5) échangeur disposé à la sortie de la station (1) de compression ainsi qu'un second (15) échangeur de chaleur **caractérisé en ce que** le système de pré-refroidissement comprend un troisième (25) échangeur de chaleur, le premier (5) échangeur de chaleur étant du type en aluminium à plaque et ailettes, le second échangeur (15) de chaleur étant du type à tube(s) ou du type à plaques soudées, ce second échangeur (15) de chaleur étant immergé dans un bain de fluide auxiliaire de refroidissement, les second (15) et troisième (25) échangeurs de chaleur étant raccordés à la fois en série et en parallèle sur le circuit de travail en aval du premier (5) échangeur de chaleur, c'est-à-dire que le gaz de travail refroidi dans le premier (5) échangeur de chaleur peut être admis sélectivement dans le second (15) et/ou dans le troisième (25) échangeur de chaleur, et **en ce que** le second (15) échangeur de chaleur est immergé dans la première capacité (3) de gaz auxiliaire liquéfié.
2. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le second échangeur (15) de chaleur est l'un parmi : un échangeur de chaleur de type à tubes en inox ou aluminium, un échangeur de chaleur de type à tube à ailettes en inox ou aluminium, un échangeur à plaques soudées en inox.
 3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le circuit comprend une branche (250) de by-pass sélectif du troisième (25) échangeur de chaleur permettant sélectivement au gaz de travail issu du premier (5) et/ou du second (15) échangeur de chaleur d'éviter le troisième (25) échangeur de chaleur dans le circuit de travail.
 4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce qu'il** comporte une première conduite (30) d'évacuation de fluide auxiliaire vaporisé reliant une extrémité supérieure de la première (3) capacité à un système de récupération de fluide auxiliaire déporté via un passage dans le premier (5) échangeur de chaleur.
 5. Dispositif selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** la première conduite (30) d'évacuation de fluide auxiliaire vaporisé comprend une branche (130) de by-pass sélectif du premier (5) échangeur de chaleur.
 6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** le troisième échangeur (25) est du type à échange de chaleur sélectif entre le gaz de travail et le fluide auxiliaire, le dispositif comprenant une conduite (13) d'alimentation sélectif reliant la première capacité (3) au troisième échan-
- geur de chaleur, pour transférer des frigories du fluide auxiliaire vers le gaz de travail dans le troisième (25) échangeur de chaleur.
7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce qu'il** comporte une seconde capacité (33) de fluide sélectivement alimentée en fluide auxiliaire par une source de fluide auxiliaire et **en ce que** le troisième échangeur (25) de chaleur est immergé dans ladite seconde capacité (33) pour permettre un échange de frigories entre le gaz de travail et le fluide auxiliaire de la seconde capacité (33).
 8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce qu'il** comporte une seconde conduite (330) d'évacuation de fluide auxiliaire vaporisé reliant une extrémité supérieure de la seconde (30) capacité à un système de récupération de fluide auxiliaire déporté via un passage dans le premier (5) échangeur de chaleur.
 9. Dispositif selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** la seconde conduite (330) d'évacuation de fluide auxiliaire vaporisé comprend une branche (130) de by-pass sélectif du premier (5) échangeur de chaleur.
 10. Procédé de refroidissement d'un utilisateur (10) utilisant un dispositif de réfrigération et/ou de liquéfaction d'un gaz de travail conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel, l'utilisateur (10) est refroidi via le système (14) d'échange thermique dudit dispositif.
 11. Procédé de refroidissement selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** le procédé comporte une étape de pré-refroidissement de l'utilisateur (10) ayant une température initiale comprise entre 250K et 400K dans laquelle le gaz de travail sortant de la station (1) de compression est refroidi par échange thermique dans le premier (5) échangeur de chaleur puis est subdivisé en deux flux dont un premier flux est refroidi dans le second (15) échangeur de chaleur puis dans le troisième (25) échangeur de chaleur et un deuxième flux est refroidi directement dans le troisième (25) échangeur de chaleur et **en ce que** le fluide auxiliaire vaporisé dans la première capacité (3) est évacué sans céder des frigories au premier (5) échangeur de chaleur.
 12. Procédé de refroidissement selon l'une quelconque des revendications 10 ou 11, **caractérisé en ce que** le procédé comporte une étape de pré-refroidissement de l'utilisateur (10) ayant une température initiale comprise entre 250K et 150K dans laquelle le gaz de travail sortant de la station (1) de compression est refroidi par échange thermique dans le premier

(5) échangeur de chaleur puis dans le second (15) échangeur de chaleur puis est scindé en deux flux dont un premier flux est refroidi dans le troisième (25) échangeur de chaleur et un second flux évite le troisième échangeur (25) et **en ce que** le troisième échangeur (25) est alimenté en fluide auxiliaire pour transférer des frigories du fluide auxiliaire au gaz de travail dans le troisième échangeur (25) et en ce le fluide auxiliaire vaporisé dans la première capacité (3) et/ou au contact du troisième échangeur (25) est évacué sans céder des frigories au premier (5) échangeur de chaleur.

13. Procédé selon la revendication 10 **caractérisé en ce que** le procédé comporte une étape de pré-refroidissement de l'utilisateur (10) ayant une température initiale comprise entre 150K et 95K dans laquelle le gaz de travail sortant de la station (1) de compression est refroidi par échange thermique dans le premier (5) échangeur de chaleur puis dans le second (15) échangeur de chaleur puis dans le troisième (25) échangeur de chaleur et **en ce qu'**au moins une partie du fluide auxiliaire vaporisé dans la première capacité (3) et/ou au contact du troisième échangeur (25) est évacué en cédant des frigories au premier (5) échangeur de chaleur.
14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 10 ou 13 **caractérisé en ce que** le procédé comporte une étape de pré-refroidissement de l'utilisateur (10) ayant une température initiale comprise entre 95K et 80K dans laquelle le gaz de travail sortant de la station (1) de compression est refroidi par échange thermique dans le premier (5) échangeur de chaleur puis uniquement dans le troisième (25) échangeur de chaleur et **en ce que** le fluide auxiliaire vaporisé au contact du troisième échangeur (25) est évacué en cédant des frigories au premier (5) échangeur de chaleur.
15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 10 ou 13 à 14 **caractérisé en ce qu'**après une phase de pré-refroidissement éventuel, le dispositif refroidit l'utilisateur selon un fonctionnement dit nominal dans lequel le gaz de travail sortant de la station (1) de compression est refroidi par échange thermique dans le premier (5) échangeur de chaleur puis uniquement dans le troisième (25) échangeur de chaleur et **en ce que** le troisième échangeur (25) est alimenté en fluide auxiliaire pour transférer des frigories du fluide auxiliaire au gaz de travail dans le troisième échangeur (25) et en ce le fluide auxiliaire vaporisé au contact du troisième échangeur (25) est évacué en cédant des frigories au premier (5) échangeur de chaleur.

Patentansprüche

- Vorrichtung zum Kühlen und/oder Verflüssigen eines Helium umfassenden oder aus reinem Helium bestehenden Arbeitsgases, wobei die Vorrichtung einen geschlossenen Arbeitskreis für das Arbeitsgas umfasst, in Reihe Folgendes umfassend:
 - eine Station (1) zum Verdichten des Arbeitsgases, die mit zumindest einem Verdichter (11, 12) versehen ist,
 - eine Kältekammer (2) zum Kühlen des Arbeitsgases, eine Vielzahl von Wärmetauschern (5) umfassend, die in Reihe angeordnet sind, sowie zumindest ein Organ (7) zum Entspannen des Arbeitsgases,
 - ein System (14) zum Wärmeaustausch zwischen dem gekühlten Arbeitsgas und einem Benutzer (10),
 - zumindest eine Rückführleitung (9) in die Station zum Verdichten (1) für das Arbeitsgas, welches das System (14) zum Wärmeaustausch durchlaufen hat, wobei die Rückführleitung (9) zumindest einen Tauscher (5) zum Wiederaufwärmen des Arbeitsgases umfasst, wobei die Vorrichtung weiter ein zusätzliches System zum Vorkühlen des Arbeitsgases am Ausgang der Station (1) zum Verdichten umfasst, wobei das System zum Vorkühlen zumindest einen Rauminhalt (3) an Hilfs-Tieftemperaturfluid wie flüssigen Stickstoff umfasst, wobei der Rauminhalt (3) über zumindest einen Wärmetauscher mit dem Arbeitskreis verbunden ist, um selektiv Frigorien aus dem Hilfsfluid zum Arbeitsgas zu übertragen, wobei die Kältekammer (2) eine erste Kühlstufe des Arbeitsgases umfasst, die einen ersten (5) Tauscher umfasst, der am Ausgang der Station (1) zum Verdichten angeordnet ist, sowie einen zweiten (15) Wärmetauscher, **dadurch gekennzeichnet, dass** das System zum Vorkühlen einen dritten (25) Wärmetauscher umfasst, wobei der erste (5) Wärmetauscher in der Art aus Aluminium mit Platte und Rippen ist, der zweite Wärmetauscher (15) in der Art mit Röhre(n) oder in der Art mit geschweißten Platten ist, wobei dieser zweite Wärmetauscher (15) in ein Bad mit einem Hilfs-Kühlfluid eingetaucht ist, wobei der zweite (15) und dritte (25) Wärmetauscher sowohl in Reihe, als auch parallel stromabwärts des ersten (5) Wärmetauschers an den Arbeitskreis angeschlossen sind, was bedeutet, dass das im ersten (5) Wärmetauscher gekühlte Arbeitsgas selektiv in dem zweiten (15) und/oder in dem dritten (25) Wärmetauscher aufgenommen werden kann, und dadurch, dass der zweite (15) Wärmetauscher in den ersten Rauminhalt (3) an verflüssigtem Hilfsfluid eingetaucht ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zweite Wärmetauscher (15) einer ist aus: einem Wärmetauscher in der Art mit Röhren aus Edelstahl oder Aluminium, einem Wärmetauscher in der Art mit Röhre mit Rippen aus Edelstahl oder Aluminium, einem Tauscher mit verschweißten Platten aus Edelstahl. 5
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kreis eine Verzweigung (250) mit einer selektiven Umgehung des dritten (25) Wärmetauschers umfasst, die es dem Arbeitsgas, das aus dem ersten (5) und/oder dem zweiten (15) Wärmetauscher stammt selektiv ermöglicht, den dritten (25) Wärmetauscher in dem Arbeitskreis zu vermeiden. 10
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie eine erste Leitung (30) zum Evakuieren von verdampftem Hilfsfluid umfasst, die ein oberes Ende des ersten (3) Rauminhalts über einen Durchgang im ersten (5) Wärmetauscher mit einem ausgelagerten Hilfsfluid-Rückgewinnungssystem verbindet. 20
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Leitung (30) zum Evakuieren von verdampftem Hilfsfluid eine Verzweigung (130) mit einer selektiven Umgehung des ersten (5) Wärmetauschers umfasst. 25
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der dritte Tauscher (25) in der Art mit einem selektiven Wärmetausch zwischen dem Arbeitsgas und dem Hilfsfluid ist, wobei die Vorrichtung eine Leitung (13) zur selektiven Zuführung umfasst, welche den ersten Rauminhalt (3) mit dem dritten Wärmetauscher verbindet, um Frigorien aus dem Hilfsfluid zum Arbeitsgas in dem dritten (25) Wärmetauscher zu übertragen. 30
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie einen zweiten Rauminhalt (33) an Fluid umfasst, dem selektiv durch eine Hilfs-Fluidquelle Hilfsfluid zugeführt wird, und dadurch, dass der dritte Wärmetauscher (25) in den zweiten Rauminhalt (33) eingetaucht ist, um einen Tausch an Frigorien zwischen dem Arbeitsgas und dem Hilfsfluid des zweiten Rauminhalts (33) zu ermöglichen. 35
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie eine zweite Leitung (330) zum Evakuieren von verdampftem Hilfsfluid umfasst, die ein oberes Ende des zweiten (30) Rauminhalts über einen Durchgang im ersten (5) Wärmetauscher mit einem ausgelagerten Hilfsfluid-Rückgewinnungssystem verbindet. 40
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Leitung (330) zum Evakuieren von verdampftem Hilfsfluid eine Verzweigung (130) mit einer selektiven Umgehung des ersten (5) Wärmetauschers umfasst. 45
10. Verfahren zum Kühlen eines Benutzers (10), der eine Vorrichtung zum Kühlen und/oder Verflüssigen eines Arbeitsgases gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9 nutzt, wobei der Benutzer (10) über das System (14) zum Wärmetausch der Vorrichtung gekühlt wird. 50
11. Verfahren zum Kühlen nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren einen Schritt zum Vorkühlen des Benutzers (10) umfasst, der eine Anfangstemperatur zwischen 250K und 400K aufweist, in dem das Arbeitsgas, das aus der Station (1) zum Verdichten austritt, durch Wärmetausch im ersten (5) Wärmetauscher gekühlt wird, danach in zwei Ströme unterteilt wird, von denen ein erster Strom im zweiten (15) Wärmetauscher und danach im dritten (25) Wärmetauscher gekühlt wird, und ein zweiter Strom direkt im dritten (25) Wärmetauscher gekühlt wird, und dadurch, dass das im ersten Rauminhalt (3) verdampfte Hilfsfluid evakuiert wird, ohne Frigorien an den ersten (5) Wärmetauscher abzugeben. 55
12. Verfahren zum Kühlen nach einem der Ansprüche 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren einen Schritt zum Vorkühlen des Benutzers (10) umfasst, der eine Anfangstemperatur zwischen 250K und 150K aufweist, in dem das Arbeitsgas, das aus der Station (1) zum Verdichten austritt, durch Wärmetausch im ersten (5) Wärmetauscher gekühlt wird, danach im zweiten (15) Wärmetauscher, danach in zwei Ströme aufgespaltet wird, von denen ein erster Strom im dritten (25) Wärmetauscher gekühlt wird und ein zweiter Strom den dritten Tauscher (25) vermeidet, und dadurch, dass dem dritten Tauscher (25) Hilfsfluid zugeführt wird, um im dritten Tauscher (25) Frigorien aus dem Hilfsfluid zum Arbeitsgas zu übertragen, und dadurch, dass das im ersten Rauminhalt (3) und/oder bei Kontakt mit dem dritten Tauscher (25) verdampfte Hilfsfluid evakuiert wird, ohne Frigorien an den ersten (5) Wärmetauscher abzugeben. 60
13. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren einen Schritt zum Vorkühlen des Benutzers (10) umfasst, der eine Anfangstemperatur zwischen 150K und 95K aufweist, in dem das Arbeitsgas, das aus der Station (1) zum Verdichten austritt, durch Wärmetausch im ersten (5) Wärmetauscher gekühlt wird, danach im zweiten (15) Wärmetauscher, danach im dritten (25) Wärmetauscher, und dadurch, dass zumindest ein Teil des 65

im ersten Rauminhalt (3) und/oder bei Kontakt mit dem dritten Tauscher (25) verdampften Hilfsfluids evakuiert wird, wobei es Frigorien an den ersten (5) Wärmetauscher abgibt.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 oder 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren einen Schritt zum Vorkühlen des Benutzers (10) umfasst, der eine Anfangstemperatur zwischen 95K und 80K aufweist, in dem das Arbeitsgas, das aus der Station (1) zum Verdichten austritt, durch Wärmetausch im ersten (5) Wärmetauscher gekühlt wird, danach nur im dritten (25) Wärmetauscher, und dadurch, dass das bei Kontakt mit dem dritten Tauscher (25) verdampfte Hilfsfluid evakuiert wird, wobei es Frigorien an den ersten (5) Wärmetauscher abgibt.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 oder 13 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung nach einer Phase eines eventuellen Vorkühlens den Benutzer entsprechend einem nominal genannten Betrieb, bei dem das Arbeitsgas, das aus der Station (1) zum Verdichten austritt, durch Wärmetausch im ersten (5) Wärmetauscher, danach nur im dritten (25) Wärmetauscher gekühlt wird, kühlt, und dadurch, dass dem dritten Tauscher (25) Hilfsfluid zugeführt wird, um im dritten Tauscher (25) Frigorien aus dem Hilfsfluid zum Arbeitsgas zu übertragen, und dadurch, dass das bei Kontakt mit dem dritten Tauscher (25) verdampfte Hilfsfluid evakuiert wird, wobei es Frigorien an den ersten (5) Wärmetauscher abgibt.

Claims

1. Device for refrigerating and/or liquefying a working gas containing helium or consisting of pure helium, the device comprising a working circuit in the form of a loop for the working gas and comprising, in series:
- a working gas compression station (1) provided with at least one compressor (11, 12),
 - a cold box (2) for cooling the working gas, comprising a plurality of heat exchangers (5) positioned in series and at least one member (7) for expanding the working gas,
 - a system (14) for the exchange of heat between the cooled working gas and a user (10),
 - at least one return pipe (9) for returning to the compression station (1) the working gas that has passed through the heat exchange system (14), the return pipe (9) comprising at least one heat exchanger (5) for reheating the working gas, the device further comprising an additional pre-cooling system for pre-cooling the working gas leaving

the compression station (1), the pre-cooling system comprising at least one volume (3) of auxiliary cryogenic fluid such as liquid nitrogen, the volume (3) being connected to the working circuit via at least one heat exchanger in order to selectively transfer frigories from the auxiliary fluid to the working gas, the cold box (2) comprising a first working-gas cooling stage comprising a first (5) heat exchanger positioned at the output of the compression station (1) in addition to a second (15) heat exchanger, **characterised in that** the pre-cooling system comprises a third (25) heat exchanger, the first (5) heat exchanger being of the aluminium plate-fin type, the second heat exchanger (15) being of the tube or welded-plate type, said second heat exchanger (15) being immersed in an auxiliary cooling fluid bath, the second (15) and third (25) heat exchangers being connected both in series and in parallel to the working circuit downstream of the first (5) heat exchanger, i.e. the working gas cooled in the first (5) heat exchanger can be admitted selectively to the second (15) and/or to the third (25) heat exchanger, and **in that** the second (15) heat exchanger is immersed in the first volume (3) of auxiliary liquefied gas.

2. Device according to claim 1, **characterised in that** the second heat exchanger (15) is one of the following group: an aluminium or stainless steel tube heat exchanger, an aluminium or stainless steel finned tube heat exchanger, or a stainless steel welded plate heat exchanger.
3. Device according to either claim 1 or claim 2, **characterised in that** the circuit comprises a branch (250) for selectively bypassing the third (25) heat exchanger, selectively allowing the working gas leaving the first (5) and/or the second (15) heat exchanger to avoid the third (25) heat exchanger in the working circuit.
4. Device according to any one of claims 1 to 3, **characterised in that** it comprises a first vaporised auxiliary fluid discharge pipe (30) connecting an upper end of the first (3) volume to a remote auxiliary fluid recovery system via a passage in the first (5) heat exchanger.
5. Device according to claim 4, **characterised in that** the first vaporised auxiliary fluid discharge pipe (30) comprises a branch (130) for selectively bypassing the first (5) heat exchanger.
6. Device according to any one of claims 1 to 5, **characterised in that** the third heat exchanger (25) is of the type allowing for the selective exchange of heat between the working gas and the auxiliary fluid, the

device comprising a selective feed pipe (13) connecting the first volume (3) to the third heat exchanger, in order to transfer frigories from the auxiliary fluid to the working gas in the third (25) heat exchanger.

7. Device according to any one of claims 1 to 6, **characterised in that** it comprises a second fluid volume (33) selectively supplied with auxiliary fluid by an auxiliary fluid source and **in that** the third heat exchanger (25) is immersed in said second volume (33) to allow for an exchange of frigories between the working gas and the auxiliary fluid of the second volume (33).

8. Device according to any one of claims 1 to 7, **characterised in that** it comprises a second vaporised auxiliary fluid discharge pipe (330) connecting an upper end of the second (30) volume to a remote auxiliary fluid recovery system via a passage in the first (5) heat exchanger.

9. Device according to claim 8, **characterised in that** the second vaporised auxiliary fluid discharge pipe (330) comprises a branch (130) for selectively bypassing the first (5) heat exchanger.

10. Method for cooling a user (10) using a device for refrigerating and/or liquefying a working gas according to any one of claims 1 to 9, wherein the user (10) is cooled via the heat exchange system (14) of said device.

11. Cooling method according to claim 10, **characterised in that** the method comprises a step of pre-cooling the user (10) having an initial temperature that lies in the range 250K to 400K, wherein the working gas leaving the compression station (1) is cooled by exchange of heat in the first (5) heat exchanger, then is divided into two flows, a first flow of which is cooled in the second (15) heat exchanger then in the third (25) heat exchanger, and a second flow of which is directly cooled in the third (25) heat exchanger, and **in that** the vaporised auxiliary fluid in the first volume (3) is discharged without transferring frigories to the first (5) heat exchanger.

12. Cooling method according to either claim 10 or claim 11, **characterised in that** the method comprises a step of pre-cooling the user (10) having an initial temperature that lies in the range 250K to 150K, wherein the working gas leaving the compression station (1) is cooled by exchange of heat in the first (5) heat exchanger, then in the second (15) heat exchanger, then is divided into two flows, a first flow of which is cooled in the third (25) heat exchanger and a second flow of which bypasses the third heat exchanger (25), and **in that** the third heat exchanger (25) is supplied with auxiliary fluid in order to transfer frigories from

the auxiliary fluid to the working gas in the third heat exchanger (25), and **in that** the vaporised auxiliary fluid in the first volume (3) and/or in contact with the third heat exchanger (25) is discharged without transferring frigories to the first (5) heat exchanger.

13. Method according to claim 10, **characterised in that** the method comprises a step of pre-cooling the user (10) having an initial temperature that lies in the range 150K to 95K, wherein the working gas leaving the compression station (1) is cooled by exchange of heat in the first (5) heat exchanger, then in the second (15) heat exchanger, then in the third (25) heat exchanger, and **in that** at least part of the vaporised auxiliary fluid in the first volume (3) and/or in contact with the third heat exchanger (25) is discharged and transfers frigories to the first (5) heat exchanger.

14. Method according to either claim 10 or claim 13, **characterised in that** the method comprises a step of pre-cooling the user (10) having an initial temperature that lies in the range 95K to 80K, wherein the working gas leaving the compression station (1) is cooled by exchange of heat in the first (5) heat exchanger, then only in the third (25) heat exchanger, and **in that** the vaporised auxiliary fluid in contact with the third heat exchanger (25) is discharged and transfers frigories to the first (5) heat exchanger.

15. Method according to any one of claim 10 or claims 13 to 14, **characterised in that** after a possible pre-cooling phase, the device cools the user according to a so-called nominal operating mode, in which the working gas leaving the compression station (1) is cooled by exchange of heat in the first (5) heat exchanger, then only in the third (25) heat exchanger, and **in that** the third heat exchanger (25) is supplied with auxiliary fluid in order to transfer frigories from the auxiliary fluid to the working gas in the third heat exchanger (25), and **in that** the vaporised auxiliary fluid in contact with the third heat exchanger (25) is discharged and transfers frigories to the first (5) heat exchanger.

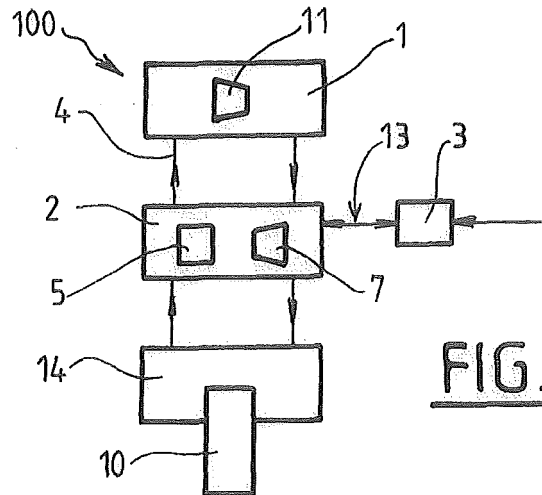


FIG. 1

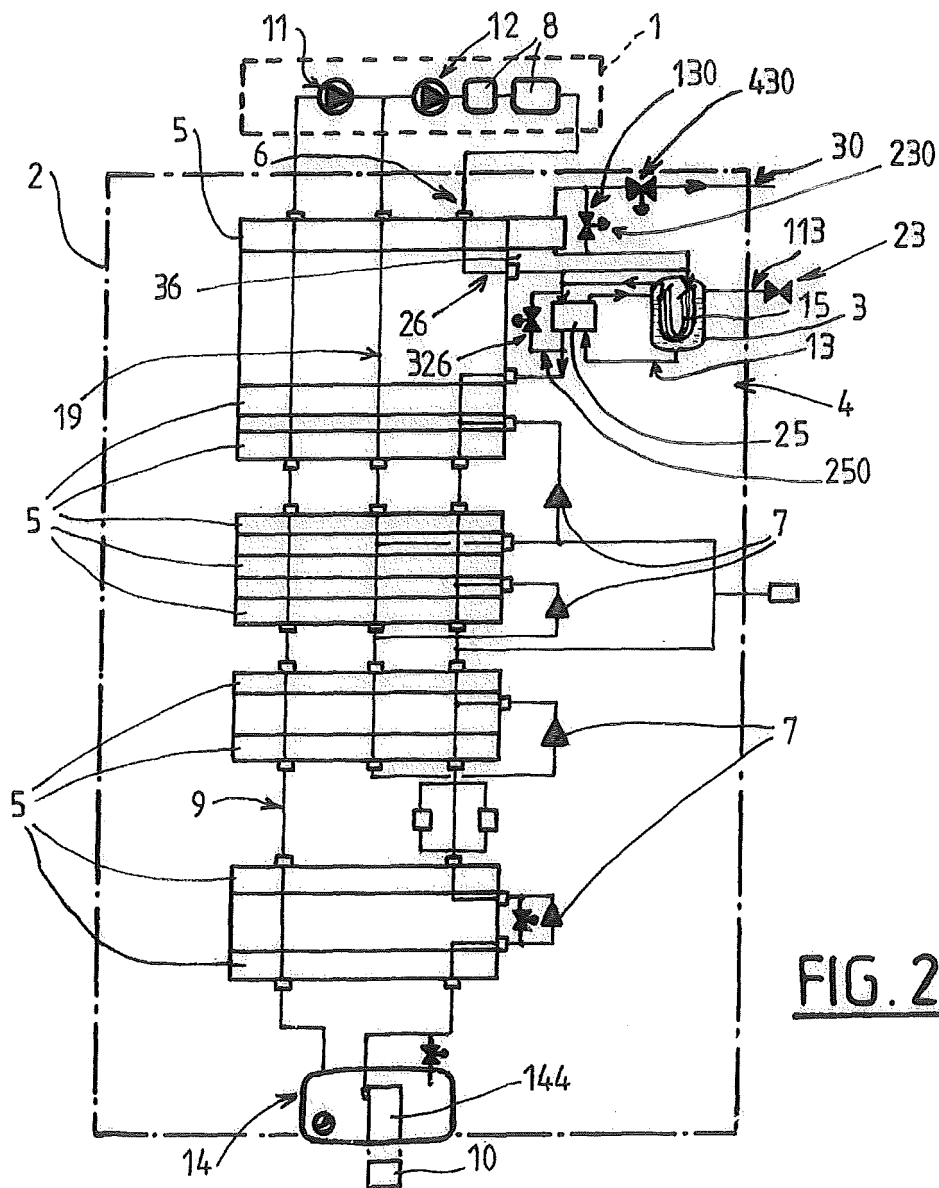
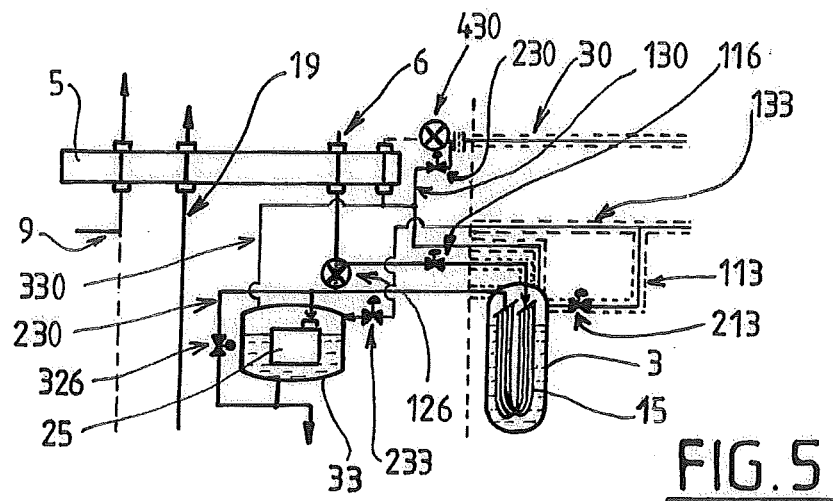
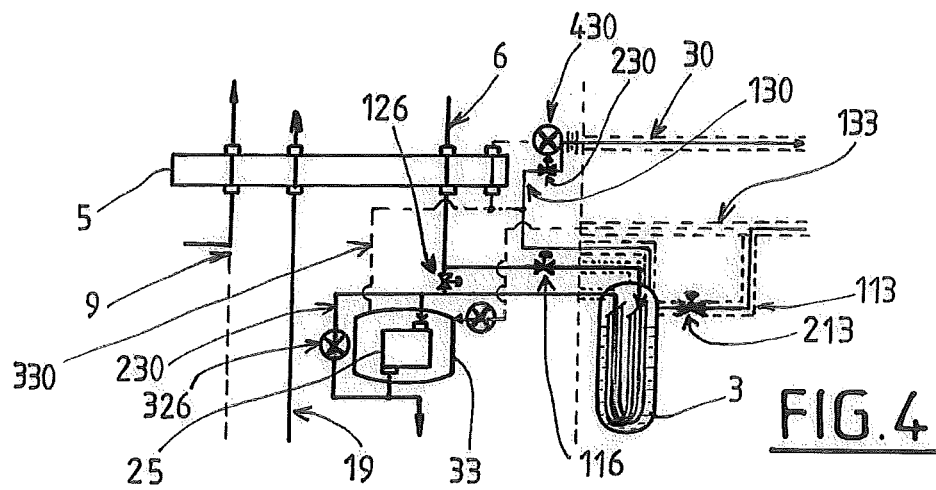
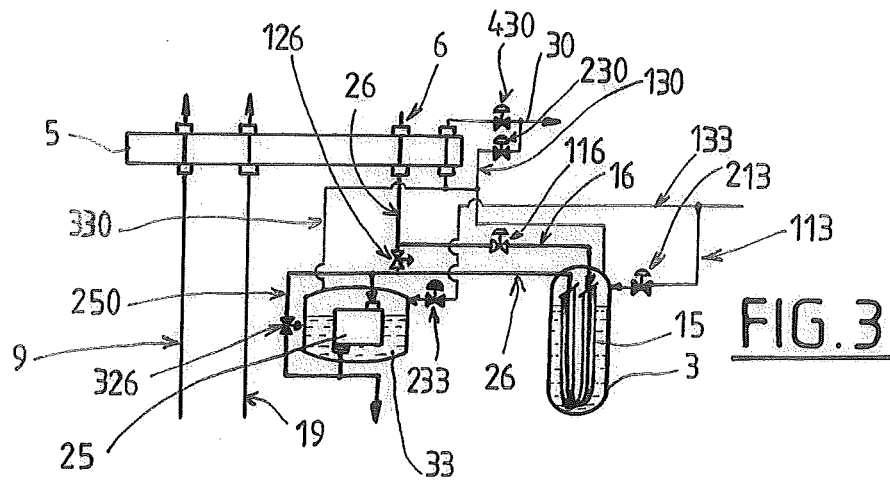
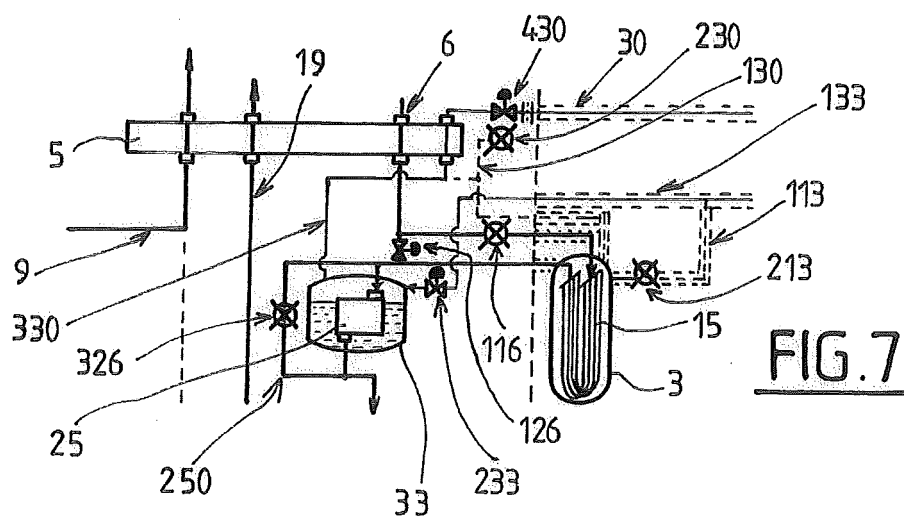
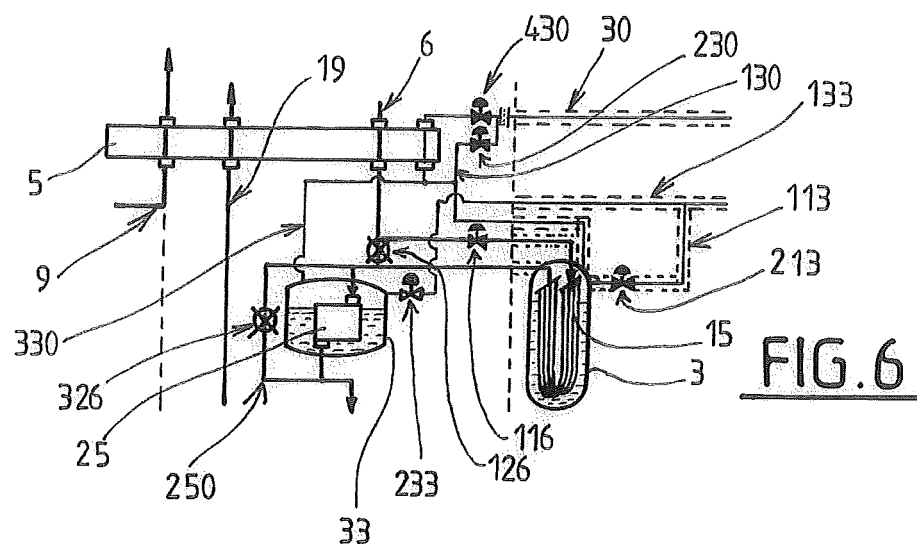


FIG. 2





RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- WO 2011110768 A1 **[0004]**
- WO 2011117499 A1 **[0004]**
- US 2009094992 A1 **[0005]**
- FR 2919713 A1 **[0018]**