

12 BREVET D'INVENTION B1

54 Installation et procédé de réfrigération cryogénique.

22 Date de dépôt : 25.01.23.

30 Priorité :

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : L'AIR LIQUIDE, SOCIETE
ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION
DES PROCEDES GEORGES CLAUDE SOCIETE
ANONYME — FR.

43 Date de mise à la disposition du public
de la demande : 09.08.24 Bulletin 24/32.

45 Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 31.01.25 Bulletin 25/05.

72 Inventeur(s) : BERNHARDT Jean-Marc, CRISPEL
Simon, MARTIN Florian et BESSE Noelle.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

73 Titulaire(s) : L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME
POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES
PROCEDES GEORGES CLAUDE SOCIETE
ANONYME.

74 Mandataire(s) : L'AIR LIQUIDE, SOCIETE
ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION
DES PROCEDES GEORGES CLAUDE.



Description

Titre de l'invention : Installation et procédé de réfrigération cryogénique

- [0001] L'invention concerne une installation et un procédé de réfrigération cryogénique.
- [0002] L'invention concerne plus particulièrement une installation de réfrigération cryogénique comprenant une enceinte délimitant un volume étanche refermé par un couvercle, l'enceinte abritant au moins deux plateaux conducteurs thermiques répartis selon une direction de répartition dans l'enceinte et formant des étages thermiques, au moins un des plateaux étant relié à un écran thermique formant un volume d'isolation thermique, l'installation comprenant un système de refroidissement à température cryogénique configuré pour refroidir au moins une partie des plateaux et/ou une ou de plaque(s) reliée(s) aux plateaux et formant un support pour un ensemble de câble(s) ou échantillons à refroidir, le système de refroidissement à température cryogénique comprenant un réfrigérateur à cycle de réfrigération d'un fluide de cycle, ledit réfrigérateur comprenant un circuit de cycle contenant un fluide de cycle comprenant de l'hélium, le circuit de cycle étant configuré pour soumettre le fluide de cycle à un cycle thermodynamique amenant le fluide de cycle à au moins une extrémité froide du circuit de cycle à une température froide déterminée, le circuit de cycle mettant en échange thermique un flux de fluide de cycle de l'extrémité froide avec au moins une partie des plateaux et/ou plaques, le circuit de cycle comportant un mécanisme de compression du fluide de cycle, au moins un organe de refroidissement du fluide de cycle, un mécanisme de détente du fluide de cycle et au moins un organe de réchauffage du fluide de cycle détendu.
- [0003] En particulier, l'invention concerne les dispositifs de réfrigération qui permettent de refroidir à des températures très basses, de l'ordre du millikelvin (« réfrigération subKelvin »). Ces températures très basses sont classiquement obtenues via un réfrigérateur à dilution ou un refroidisseur cryogénique de type Joule Thomson à He4 ou à He3.
- [0004] Dans ces dispositifs, il est nécessaire d'apporter une puissance froide jusqu'à une température de par exemple 4K à un ou plusieurs étages de réfrigération. Une installation de ce type doit pouvoir être refroidie rapidement lors de sa mise en marche. De plus, la surface expérimentale disponible pour les échantillons ou câbles à refroidir doit être optimisée.
- [0005] Les réfrigérateurs à dilution ont besoin d'un apport de puissance froide à jusqu'à une température inférieure ou égale à 4.2K pour fonctionner. Cette puissance froide est fournie généralement à partir de tubes à gaz pulsé (réfrigérateurs à dilution « secs »),

soit via un bain d'hélium liquide (réfrigérateurs à dilution « humides »). Dans les applications « Qbits » la puissance froide doit être augmentée.

[0006] Augmenter le nombre de tubes à gaz pulsé limite la surface expérimentale disponible pour intégrer des Qbits. En outre, cette solution ne permet pas de fournir une puissance froide très importante pour refroidir un ensemble de câble(s) ou échantillons et pour pré-refroidir le fluide de travail de l'étage de dilution. De plus, cette solution génère des vibrations.

[0007] Un but de la présente invention est de pallier tout ou partie des inconvénients de l'art antérieur relevés ci-dessus.

[0008] A cette fin, l'installation selon l'invention, par ailleurs conforme à la définition générique qu'en donne le préambule ci-dessus, est essentiellement caractérisé en ce que le circuit de cycle comprend un premier pot de stockage d'une réserve de fluide de cycle liquéfié, le circuit de cycle comprenant, en aval de l'échange thermique avec au moins une partie de plateaux et/ou plaques, une conduite de dérivation d'au moins une partie du flux de fluide de cycle vers le premier pot de stockage, la conduite de dérivation comprenant un organe de détente du flux de gaz de cycle configuré pour détendre le gaz de cycle avant d'alimenter le premier pot de stockage, et en ce que le circuit de cycle comprend, en amont de l'échange thermique avec au moins une partie de plateaux et/ou plaques, une portion en échange thermique avec le fluide de cycle liquéfié contenu dans le premier pot de stockage.

[0009] Par ailleurs, des modes de réalisation de l'invention peuvent comporter l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- la portion d'échange thermique entre le fluide de cycle liquéfié contenu dans le pot et le fluide de cycle du circuit de cycle comprend un passage du circuit de cycle dans le fluide de cycle liquéfié à l'intérieur du premier pot de stockage,
- la portion d'échange thermique entre le fluide de cycle liquéfié contenu dans le pot et le fluide de cycle du circuit de cycle comprend un passage du circuit de cycle dans un échangeur refroidi par une boucle de circulation de fluide de cycle liquéfié alimentée par le premier pot de stockage, par exemple un thermosiphon,
- le circuit de cycle comprend, en aval de l'échange thermique avec au moins une partie de plateaux et/ou plaques, une conduite de retour qui est configurée pour renvoyer vers le mécanisme de compression la fraction du flux de fluide de cycle qui n'a pas été dérivée vers le premier pot de stockage,
- le circuit de cycle comprend une conduite de renvoi reliant une sortie premier pot de stockage vers le mécanisme de compression,
- la conduite de renvoi comprend une pompe ou un compresseur cryogénique,

- le circuit de cycle comprend un second pot de stockage d'une réserve de fluide de cycle liquéfié relié à la conduite de retour et/ou la conduite (18) de dérivation,
- le circuit de cycle est configuré pour stocker dans le second pot de stockage une réserve de fluide de cycle liquéfié ayant une température déterminée supérieure à la température déterminée du fluide de cycle stocké dans le premier pot de stockage,
- le circuit de cycle comprend une conduite reliant le second pot de stockage au premier pot de stockage et configurée pour permettre le transfert de fluide de cycle liquéfié du second pot de stockage vers le premier pot de stockage,
- le circuit de cycle du réfrigérateur comprend plusieurs conduites distinctes mettant en échange thermique différents flux de fluide de cycle avec des plateaux et/ou plaques distincts,
- le circuit de cycle comprend au moins une conduite mettant en échange thermique du fluide de cycle en série avec plusieurs plateaux et/ou plaques distincts d'une même enceinte et/ou ou de plusieurs enceintes distinctes,
- le circuit de cycle est configuré pour soumettre le fluide de cycle à un cycle thermodynamique amenant le fluide de cycle à plusieurs températures froides distinctes au niveau respectivement de plusieurs extrémités froides du circuit de cycle, le circuit de cycle du réfrigérateur comprenant plusieurs conduites distinctes mettant en échange thermique en parallèle différents flux de fluide de cycle à des températures différentes avec des plateaux et/ou plaques distincts respectifs.

[0010] L'invention concerne également un procédé de réfrigération utilisant une installation conforme à l'une quelconque des caractéristiques ci-dessus ou ci-dessous, le procédé comprenant une étape de production d'une puissance froide déterminée par le réfrigérateur, une utilisation d'une partie de cette puissance froide produite pour refroidir un ensemble de plateau(x) et/ou plaque(s) par échange thermique avec un flux de fluide de cycle, une étape de récupération de ce flux de fluide de cycle après échange thermique et une étape de détente d'une fraction de ce flux de fluide de cycle récupéré vers le premier pot de stockage pour constituer une réserve de froid, le procédé comprenant une étape de refroidissement du flux de fluide de cycle avec le fluide de cycle du premier pot de stockage.

[0011] 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.

[0012] 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

- [0013] 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 :
- [0014] [Fig.1] est une vue schématique et partielle illustrant un exemple de structure et de fonctionnement d'une installation conforme à un premier mode de réalisation de l'invention,
- [0015] [Fig.2] est une vue schématique et partielle illustrant un exemple de structure et de fonctionnement d'une installation conforme à un second mode de réalisation de l'invention;
- [0016] [Fig.3] est une vue schématique et partielle illustrant un exemple de structure et de fonctionnement d'une installation conforme à un troisième mode de réalisation de l'invention.

Description détaillée

- [0017] Sur toutes les figures, les mêmes références se rapportent aux mêmes éléments.
- [0018] 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.
- [0019] L'installation 1 de réfrigération cryogénique illustrée à la [Fig.1] comprend une enceinte 2 délimitant un volume étanche refermé par un couvercle 3. L'enceinte 2 abrite dans cet exemple trois plateaux 4, 5, 6 conducteurs thermiques répartis selon une direction de répartition dans l'enceinte 2 (ici verticale) et formant des étages thermiques. Les plateaux 4, 5, 6 sont de préférence reliés chacun à un écran 14, 15, 16 thermique respectif formant un volume d'isolation thermique. Par exemple, selon la direction de répartition chaque écran thermique englobe (abrite) l'écran thermique et plateau suivant (de façon « gigogne »).
- [0020] L'installation 1 comprend un système de refroidissement à température cryogénique configuré pour refroidir au moins une partie des plateaux 4, 5, 6 et/ou une ou des plaque(s) 24, 25, 26 support qui peuvent être reliée(s) (30) aux plateaux 4, 5, 6. Ces plaques 24, 25, 26 support peuvent être montées de façon amovible ou détachable sur les plateaux 4, 5, 6 concernés pour former un support pour un ensemble de câble(s) ou échantillons à refroidir (non représentés par souci de simplification).
- [0021] Le système de refroidissement à température cryogénique comprend un réfrigérateur 70 à cycle de réfrigération d'un fluide de cycle.
- [0022] Le réfrigérateur 70 comprend un circuit 8 de cycle contenant un fluide de cycle comprenant de l'hélium. Le fluide de cycle pourrait être composé d'autre(s) gaz, par

exemple un mélange comprenant de l'hélium et l'un au moins parmi : l'hydrogène, l'azote, du néon, un ou des hydrocarbures.

- [0023] Le circuit 8 de cycle est configuré pour soumettre le fluide de cycle à un cycle thermodynamique amenant le fluide de cycle à au moins une extrémité froide du circuit 8 de cycle à une température froide déterminée.
- [0024] Le circuit 8 de cycle comporte un mécanisme 9 de compression du fluide de cycle (un ou plusieurs compresseurs en série et/ou en parallèle), au moins un organe 11, 12, 13, 14 de refroidissement du fluide de cycle (par exemple un ou plusieurs échangeurs de chaleur), un mécanisme 10, 15 de détente du fluide de cycle (une ou plusieurs vanne(s) et ou turbine(s) en série et/ou en parallèle) et au moins un organe 14, 13, 12, 11 de réchauffage du fluide de cycle détendu (un ou plusieurs échangeurs de chaleur). Comme illustré, le refroidissement et le réchauffage du fluide de cycle peut être assuré par un ou plusieurs échangeurs de chaleur assurant un échange de chaleur entre deux flux de fluide de cycle à des températures différentes (par exemple à contre-courant).
- [0025] Une partie du circuit 8 de cycle et en particulier les portions relativement chaudes peuvent être situées à l'extérieur de l'enceinte 2.
- [0026] Le circuit 8 de cycle possède des conduites mettant en échange thermique au moins un flux de fluide de cycle de l'extrémité froide avec au moins une partie des plateaux 4, 5, 6 et/ou plaques 24, 25, 26. Par exemple, des conduites transfèrent le fluide de cycle froid dans des échangeurs de chaleur 34, 35, 36 au contact des plateaux et/ou plaques. Alternativement ou cumulativement, les conduites véhiculant le circuit 8 de cycle peuvent posséder des portions en contact direct (et/ou dans l'épaisseur) des plateaux 4, 5, 6 et/ou plaques, 24, 25, 26 et/ou écran thermique.
- [0027] Par exemple, le circuit 8 de cycle du réfrigérateur 70 comprend plusieurs conduites 108, 208 distinctes mettant en échange thermique différents flux de fluide de cycle avec des plateaux 4, 5, 6 et/ou plaques 24, 25, 26 distincts d'une même enceinte 2 (cf. [Fig.1]) ou de plusieurs enceintes 2 distinctes (cf. [Fig.2] ou [Fig.3]).
- [0028] Par exemple, le circuit 8 de cycle peut être configuré pour soumettre le fluide de cycle à un cycle thermodynamique amenant le fluide de cycle à plusieurs températures froides distinctes au niveau respectivement de plusieurs extrémités froides du circuit de cycle et le circuit 8 de cycle du réfrigérateur 70 comprenant plusieurs conduites 108, 208 distinctes mettant en échange thermique en parallèle différents flux de fluide de cycle à des températures différentes avec des plateaux 4, 5, 6 et/ou plaques 24, 25, 26 distincts respectifs.
- [0029] Ceci permet produire et d'envoyer du fluide de cycle supercritique sous pression (par exemple à une pression supérieure à 3,5bar) vers un ou plusieurs étages d'une ou plusieurs enceintes 2, par exemple en parallèle.
- [0030] Le fluide supercritique peut être produit dans le circuit 8 de cycle par un agencement

d'échangeurs, afin de récupérer au mieux la puissance froide disponible.

- [0031] Ainsi, le circuit 8 de cycle peut fournir du fluide de cycle à des températures intermédiaires, par exemple entre 4K et 100K, pour refroidir des étages intermédiaires dans une ou plusieurs enceintes 2.
- [0032] Ceci permet des fonctionnements indépendants pour différentes enceintes 2 avec un même système de réfrigération 70 commun.
- [0033] Cette solution permet de fournir une puissance froide qui peut être adaptée simplement.
- [0034] A cet effet, les différentes conduites alimentant les différents étages ou enceintes 2 peuvent être pourvues de vannes de régulation de débit. Ces vannes peuvent être régulées en fonction de la température de l'élément à refroidir (puissance froide attendue). Les débits de fluide de cycle peuvent être régulés pour l'augmentation ou la diminution de la demande en puissance froide dans l'enceinte 2.
- [0035] Le circuit 8 de cycle comprend un premier pot 17 de stockage d'une réserve de fluide de cycle liquéfié.
- [0036] Le circuit 8 de cycle comprend, en aval de l'échange thermique avec au moins une partie de plateaux 4, 5, 6 et/ou plaques 24, 25, 26, une conduite 18 de dérivation d'au moins une partie du flux de fluide de cycle vers le premier pot 17 de stockage.
- [0037] C'est-à-dire que la au moins une conduite qui ramène vers les organes de réchauffage (échangeurs 14, 13, 12, 11) et les organes de compression (compresseur 9, 8) le fluide de cycle qui a échangé thermiquement avec les éléments à refroidir dans l'enceinte 2 possède une dérivation 18 vers le premier pot 17 de stockage. Cette conduite 18 de dérivation possède de préférence un organe 19 de détente du flux de gaz de cycle (vanne(s) ou équivalent) configuré pour détendre le gaz de cycle avant d'alimenter le premier pot 17 de stockage.
- [0038] L'installation 1 peut être dimensionnée ou les conditions de fonctionnement peuvent conduire à ce que le refroidissement dans l'enceinte 2 n'utilise qu'une partie de la puissance disponible dans le flux de fluide de cycle froid. Ce fluide de cycle revient relativement froid et la puissance froide qui n'a pas été utilisée pour refroidir les composants dans l'enceinte 2 peut être valorisée.
- [0039] Ceci est réalisé en réalisant une détente d'une partie de ce fluide de cycle vers le premier pot 17 de stockage.
- [0040] Cet agencement permet d'optimiser la puissance froide produite en minimisant le débit de fluide de travail à basse pression (gaz venant du premier pot 17 de stockage).
- [0041] De plus, ceci permet de maximiser le débit de fluide de cycle froid mis en circulation dans la ou les enceintes 2 (maximise la puissance disponible).
- [0042] Le débit de fluide de cycle non utilisé pour cette dérivation peut être renvoyé vers le compresseur de cycle du le réfrigérateur en cédant des frigories au fluide de cycle en

aval de la compression. A cet effet, le circuit 8 de cycle comprend, en aval de l'échange thermique avec au moins une partie de plateaux 4, 5, 6 et/ou plaques 24, 25, 26, une conduite 28 de retour qui est configurée pour renvoyer vers le mécanisme 9 de compression la fraction du flux de fluide de cycle qui n'a pas été dérivée vers le premier pot 17 de stockage.

[0043] Ce fluide détendu produit du liquide à très basse température (typiquement entre 1K et 4K) qui est mis en échange thermique avec le fluide de cycle avant son échange thermique avec les composants dans l'enceinte 2.

[0044] C'est-à-dire que le circuit 8 de cycle comprend, en amont de l'échange thermique avec au moins une partie de plateaux 4, 5, 6 et/ou plaques 24, 25, 26, une portion en échange thermique avec le fluide de cycle liquéfié contenu dans le premier pot 17 de stockage. La réserve de froid constituée par le premier pot 17 de stockage fournit du froid au fluide de cycle avant son utilisation pour refroidir le ou les éléments dans l'enceinte 2.

[0045] Dans l'exemple de la [Fig.1], l'échange thermique entre le fluide de cycle liquéfié contenu dans le pot 17 et le fluide de cycle du circuit 8 de cycle comprend un passage du circuit 8 de cycle dans le fluide de cycle liquéfié à l'intérieur du premier pot 17 de stockage. C'est-à-dire qu'une partie du circuit de cycle 8 est immergée dans le bain liquide du premier pot 17 de stockage, par exemple en y décrivant un serpentín ou plusieurs passages ou coudes.

[0046] Dans l'exemple de la [Fig.3], l'échange thermique entre le fluide de cycle liquéfié contenu dans le pot 17 et le fluide de cycle du circuit 8 de cycle est réalisé via un passage du circuit 8 de cycle dans un échangeur 15 de chaleur refroidi par une boucle 47 de circulation de fluide de cycle liquéfié alimentée par le premier pot 17 de stockage, par exemple un thermosiphon. Ceci constitue un échange de chaleur plus indirect que dans le mode de réalisation précédent.

[0047] Le circuit 8 de cycle comprend également de préférence une conduite 38 de renvoi reliant une sortie (par exemple supérieure) du premier pot 17 de stockage vers le mécanisme 9 de compression. Ceci permet le renvoi vers la compression le gaz de vaporisation au sein du premier pot 17 de stockage.

[0048] Comme illustré à la [Fig.3], la conduite 38 de renvoi peut comprendre une pompe 10 ou un compresseur cryogénique.

[0049] Comme illustré à la [Fig.2] et à la [Fig.3], le circuit 8 de cycle peut comporter un second pot 27 de stockage d'une réserve de fluide de cycle liquéfié. Ce second pot 27 de stockage est par exemple raccordé en parallèle avec le premier pot 17 de stockage sur la conduite 18 de dérivation. Le flux de fluide revenant de l'enceinte 2 par la conduite 28 de retour peut être envoyé au premier pot 17 de stockage (via la vanne 19) ou au second pot 27 (via la vanne 128). Une conduite et vanne 127 peuvent être

prévues pour transférer du liquide du second pot 27 de stockage vers le premier pot 17. Cette vanne 127 peut servir à réguler le niveau de liquide dans le second pot 27. Le gaz formé dans le second pot 27 de stockage est envoyé au compresseur 9.

- [0050] Cette conduite 28 de retour peut par exemple alimenter le second pot 27 de stockage à un niveau intermédiaire entre ses extrémités supérieure et inférieure. Comme illustré, une sortie supérieure de ce second pot 27 de stockage peut être reliée à la compression du circuit de cycle, par exemple à un niveau de pression intermédiaire entre la basse pression en entrée et la haute pression en sortie (entre deux compresseurs 9 en série).
- [0051] Le second pot 27 de stockage peut être configuré pour stocker une réserve de fluide de cycle liquéfié ayant une température déterminée (par exemple de l'ordre de 4K) supérieure à la température déterminée du fluide de cycle stocké dans le premier pot 17 de stockage (par exemple de l'ordre de 2K).
- [0052] Comme illustré, de préférence le circuit 89 de cycle ne comprend pas de thermosiphon au niveau du second pot 27 de stockage mais bien sûr un thermosiphon pourrait être prévu au niveau du second pot 27 de stockage. Un échangeur 14 peut être placé sur le circuit 8 avant le second pot 27 de stockage pour profiter de la basse température du fluide de retour. Ceci permet d'améliorer le rendement énergétique du système.
- [0053] Tout ou partie des composants du réfrigérateur et/ou de l'enceinte 2 peuvent être logés dans une boîte froide isolée thermiquement, par exemple sous vide. Le fonctionnement peut être au moins en partie automatisé ce qui limite les manipulations de fluide cryogénique par l'utilisateur.
- [0054] La structure de l'installation 1 permet de la puissance froide le long d'un capillaire dans l'enceinte, contrairement à des refroidissements plus ponctuels des solutions connues avec bain de liquide cryogénique.
- [0055] La structure ci-dessus est plus efficace et souple que les solutions qui utilisent exclusivement des tubes à gaz pulsés pour refroidir des étages des enceintes 2.
- [0056] Ce type d'installation nécessite une maintenance moindre que les solutions de l'art antérieur.
- [0057] De plus, cette solution offre une puissance froide supérieure (et température froide disponible plus basse) ce qui peut être utilisé pour réduire le temps de pré-refroidissement/mise en froid de l'installation au démarrage. En particulier, une telle installation peut fournir un flux de fluide de cycle très froid, par exemple à une température de l'ordre de 1K.
- [0058] Une telle installation peut être avantageusement utilisée pour refroidir des Qbits dans des centres de calcul de type quantiques.
- [0059] L'installation peut utiliser un ou plusieurs compresseurs cryogéniques dans le circuit 8 de cycle pour une meilleure récupération des calories dans les échangeurs de cycle.

[0060] La vidange du fluide de cycle dans la ou les enceintes peut être réalisée rapidement ce qui diminue significativement le temps de réchauffage de l'installation lors d'une mise à l'arrêt (par rapport à une solution « humide » classique).

Revendications

[Revendication 1]

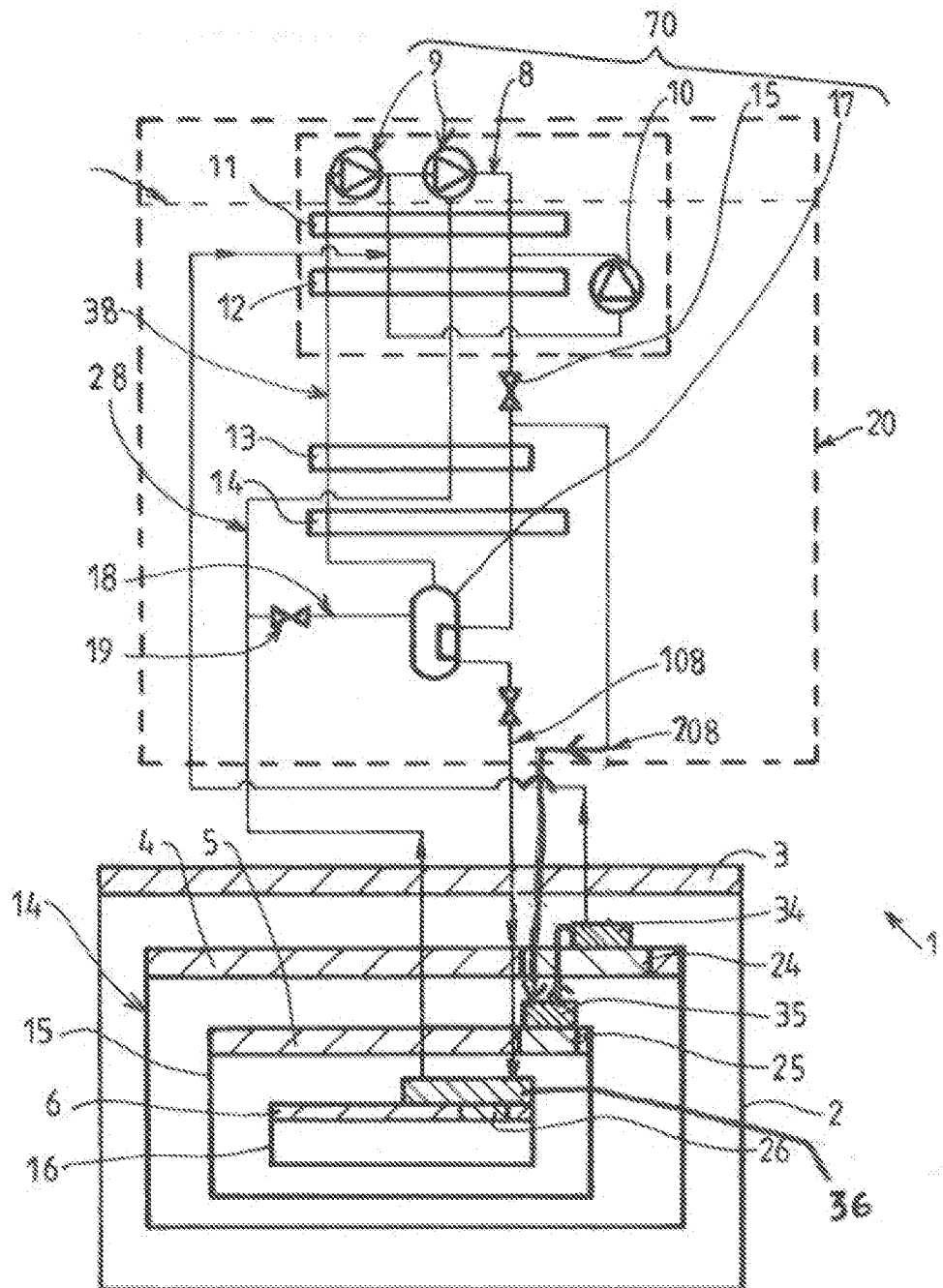
Installation de réfrigération cryogénique comprenant une enceinte (2) délimitant un volume étanche refermé par un couvercle (3), l'enceinte (2) abritant au moins deux plateaux (4, 5, 6, 7) conducteurs thermiques répartis selon une direction de répartition dans l'enceinte (2) et formant des étages thermiques, au moins un des plateaux (4, 5, 6, 7) étant relié à un écran (14, 15, 16) thermique formant un volume d'isolation thermique, l'installation (1) comprenant un système de refroidissement à température cryogénique configuré pour refroidir au moins une partie des plateaux (4, 5, 6, 7) et/ou une ou de plaque(s) (24, 25, 26) reliée(s) (30) aux plateaux (4, 5, 6, 7) et formant un support pour un ensemble de câble(s) (30) ou échantillons à refroidir, le système de refroidissement à température cryogénique comprenant un réfrigérateur (70) à cycle de réfrigération d'un fluide de cycle, ledit réfrigérateur (70) comprenant un circuit (8) de cycle contenant un fluide de cycle comprenant de l'hélium, le circuit (8) de cycle étant configuré pour soumettre le fluide de cycle à un cycle thermodynamique amenant le fluide de cycle à au moins une extrémité froide du circuit (8) de cycle à une température froide déterminée, le circuit de cycle mettant en échange thermique un flux de fluide de cycle de l'extrémité froide avec au moins une partie des plateaux (4, 5, 6, 7) et/ou plaques (24, 25, 26), le circuit (8) de cycle comportant un mécanisme (9) de compression du fluide de cycle, au moins un organe (11, 12, 13, 14) de refroidissement du fluide de cycle, un mécanisme (10, 15) de détente du fluide de cycle et au moins un organe (14, 13, 12, 11) de réchauffage du fluide de cycle détendu, caractérisé en ce que le circuit (8) de cycle comprend un premier pot (17) de stockage d'une réserve de fluide de cycle liquéfié, le circuit (8) de cycle comprenant, en aval de l'échange thermique avec au moins une partie de plateaux (4, 5, 6) et/ou plaques (24, 25, 26), une conduite (18) de dérivation d'au moins une partie du flux de fluide de cycle vers le premier pot (17) de stockage, la conduite (18) de dérivation comprenant un organe (19) de détente du flux de gaz de cycle configuré pour détendre le gaz de cycle avant d'alimenter le premier pot (17) de stockage et en ce que le circuit (8) de cycle comprend, en amont de l'échange thermique avec au moins une partie de plateaux (4, 5, 6) et/ou plaques (24, 25, 26), une portion en échange thermique avec le fluide de cycle liquéfié contenu dans le premier pot (17) de stockage.

- [Revendication 2] Installation selon la revendication 1 caractérisée en ce que la portion d'échange thermique entre le fluide de cycle liquéfié contenu dans le pot (17) et le fluide de cycle du circuit (8) de cycle comprend un passage du circuit (8) de cycle dans le fluide de cycle liquéfié à l'intérieur du premier pot (17) de stockage.
- [Revendication 3] Installation selon la revendication 1 ou 2 caractérisée en ce que la portion d'échange thermique entre le fluide de cycle liquéfié contenu dans le pot (17) et le fluide de cycle du circuit (8) de cycle comprend un passage du circuit (8) de cycle dans un échangeur (15) refroidi par une boucle (47) de circulation de fluide de cycle liquéfié alimentée par le premier pot (17) de stockage, par exemple un thermosiphon.
- [Revendication 4] Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 caractérisée en ce que le circuit (8) de cycle comprend, en aval de l'échange thermique avec au moins une partie de plateaux (4, 5, 6) et/ou plaques (24, 25, 26), une conduite (28) de retour qui est configurée pour renvoyer vers le mécanisme (9) de compression la fraction du flux de fluide de cycle qui n'a pas été dérivée vers le premier pot (17) de stockage.
- [Revendication 5] Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que le circuit (8) de cycle comprend une conduite (38) de renvoi reliant une sortie premier pot (17) de stockage vers le mécanisme (9) de compression.
- [Revendication 6] Installation selon la revendication 5, caractérisée en ce que la conduite (38) de renvoi comprend une pompe (10) ou un compresseur cryogénique.
- [Revendication 7] Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisée en ce que le circuit (8) de cycle comprend un second pot (27) de stockage d'une réserve de fluide de cycle liquéfié relié à la conduite (28) de retour et/ou la conduite (18) de dérivation.
- [Revendication 8] Installation selon la revendication 7, caractérisée en ce que le circuit (8) de cycle est configuré pour stocker dans le second pot (27) de stockage une réserve de fluide de cycle liquéfié ayant une température déterminée supérieure à la température déterminée du fluide de cycle stocké dans le premier pot (17) de stockage.
- [Revendication 9] Installation selon la revendication 7 ou 8, caractérisée en ce que le circuit (8) de cycle comprend une conduite reliant le second pot (27) de stockage au premier pot (17) de stockage et configurée pour permettre le transfert de fluide de cycle liquéfié du second pot (27) de stockage vers

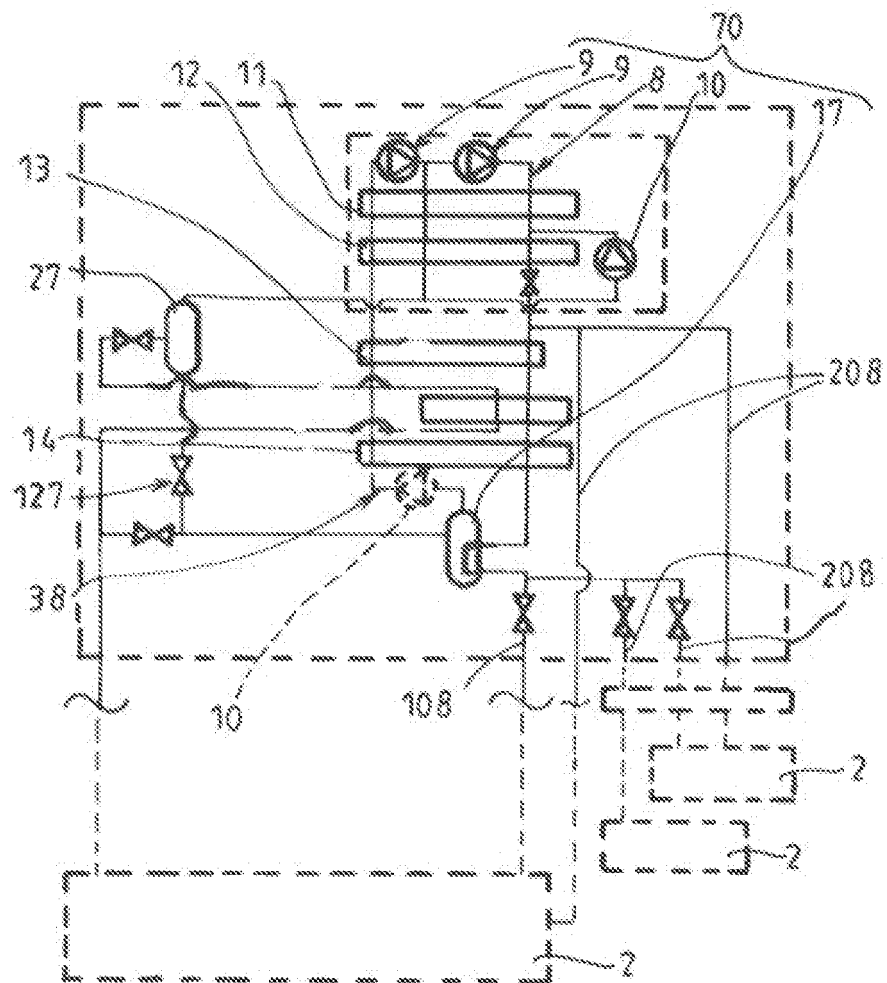
le premier pot (17) de stockage.

- [Revendication 10] Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisée en ce que le circuit (8) de cycle du réfrigérateur (70) comprend plusieurs conduites (108, 208) distinctes mettant en échange thermique différents flux de fluide de cycle avec des plateaux (4, 5, 6) et/ou plaques (24, 25, 26) distincts.
- [Revendication 11] Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisée en ce que le circuit (8) de cycle comprend au moins une conduite mettant en échange thermique du fluide de cycle en série avec plusieurs plateaux (4, 5, 6) et/ou plaques (24, 25, 26) distincts d'une même enceinte (2) et/ou ou de plusieurs enceintes (2) distinctes.
- [Revendication 12] Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisée en ce que le circuit (8) de cycle est configuré pour soumettre le fluide de cycle à un cycle thermodynamique amenant le fluide de cycle à plusieurs températures froides distinctes au niveau respectivement de plusieurs extrémités froides du circuit de cycle, le circuit (8) de cycle du réfrigérateur (70) comprenant plusieurs conduites (108, 208) distinctes mettant en échange thermique en parallèle différents flux de fluide de cycle à des températures différentes avec des plateaux (4, 5, 6) et/ou plaques (24, 25, 26) distincts respectifs.
- [Revendication 13] Procédé de réfrigération utilisant une installation conforme à l'une quelconque des revendications précédentes, le procédé comprenant une étape de production d'une puissance froide déterminée par le réfrigérateur (70), une utilisation d'une partie de cette puissance froide produite pour refroidir un ensemble de plateau(x) (4, 5, 6) et/ou plaque(s) (24, 25, 26) par échange thermique avec un flux de fluide de cycle, une étape de récupération de ce flux de fluide de cycle après échange thermique et une étape de détente d'une fraction de ce flux de fluide de cycle récupéré vers le premier pot (17) de stockage pour constituer une réserve de froid, le procédé comprenant une étape de refroidissement du flux de fluide de cycle avec le fluide de cycle du premier pot (17) de stockage.

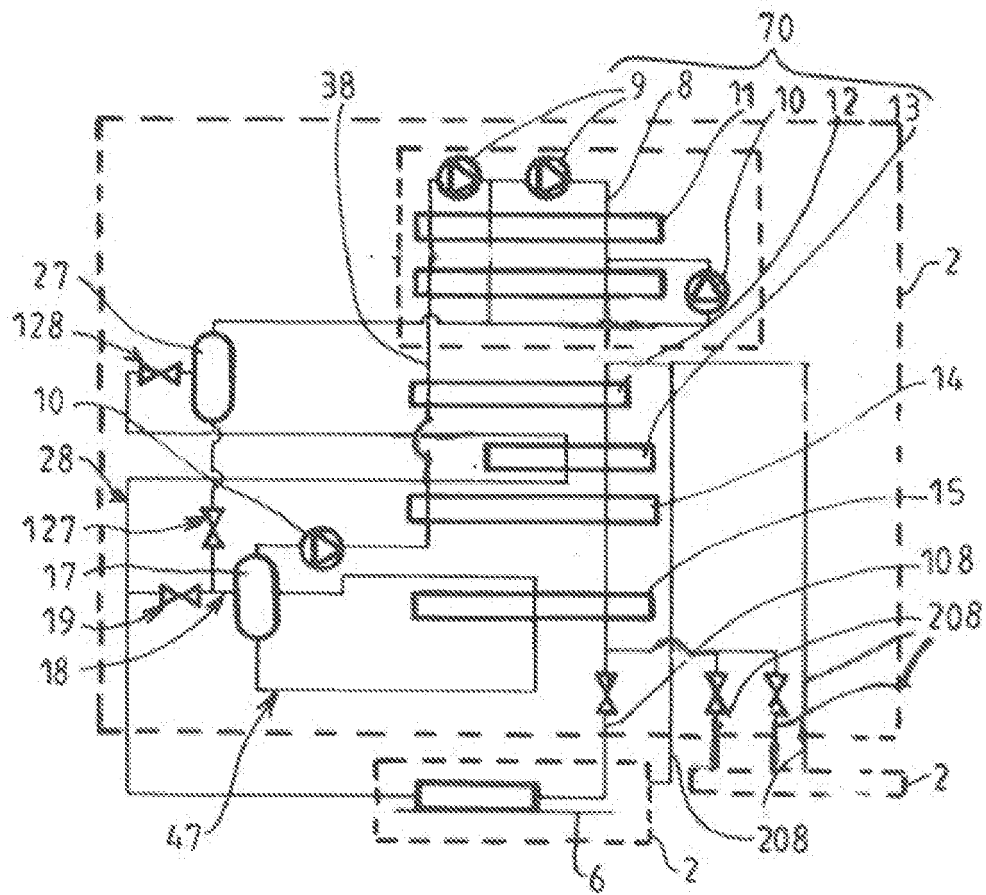
[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☒ Le demandeur a maintenu les revendications.

☐ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

EP 3 477 225 B1 (SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES
[JP]) 2 mars 2022 (2022-03-02)

CN 115 176 116 A (OXFORD INSTRUMENTS
NANOTECHNOLOGY TOOLS LTD)
11 octobre 2022 (2022-10-11)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT