



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
30.10.2019 Bulletin 2019/44

(21) Numéro de dépôt: **19174805.2**

(22) Date de dépôt: **23.10.2008**

(51) Int Cl.:
F25B 1/10 (2006.01) **F25B 9/14 (2006.01)**
F25B 9/10 (2006.01) **F25B 9/06 (2006.01)**
F25J 1/00 (2006.01) **F25J 1/02 (2006.01)**

(84) Etats contractants désignés:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT
RO SE SI SK TR

(30) Priorité: **23.11.2007 FR 0759243**

(62) Numéro(s) de document de la (des) demande(s)
initiale(s) en application de l'article 76 CBE:
18178529.6 / 3 410 035
08852903.7 / 2 225 501

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

(72) Inventeurs:
• **DURAND, Fabien**
38340 VOREPPES (FR)
• **RAVEX, Alain**
38240 MEYLAN (FR)

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

Remarques:

Cette demande a été déposée le 16.05.2019 comme
demande divisionnaire de la demande mentionnée
sous le code INID 62.

(54) **DISPOSITIF ET PROCEDE DE REFRIGERATION CRYOGENIQUE**

(57) Dispositif de réfrigération cryogénique destiné à transférer de la chaleur d'une source froide (15) vers une source (1) chaude via un fluide de travail circulant dans un circuit (200) de travail fermé comprenant en série : une portion de compression sensiblement isotherme du fluide, une portion de refroidissement sensiblement isobare du fluide, une portion de détente sensiblement isotherme du fluide et une portion de réchauffement sensiblement isobare du fluide, la portion de compression du circuit (200) de travail comprenant au moins deux compresseurs (7, 5, 3) disposés en série, la portion de détente du circuit (200) de travail comprenant au moins une turbine (9, 11, 13) de détente, les compresseurs (7, 5, 3) et la ou les turbines (9, 11, 13) de détente étant entraînés par au moins un moteur (70) dit à haute vitesse comprenant un arbre de sortie dont l'une des extrémité porte et entraîne en rotation par accouplement direct un premier compresseur (7, 5, 3) et dont l'autre extrémité porte et entraîne en rotation par accouplement direct un second compresseur (7, 5, 3) ou une turbine (9, 11, 13) de détente

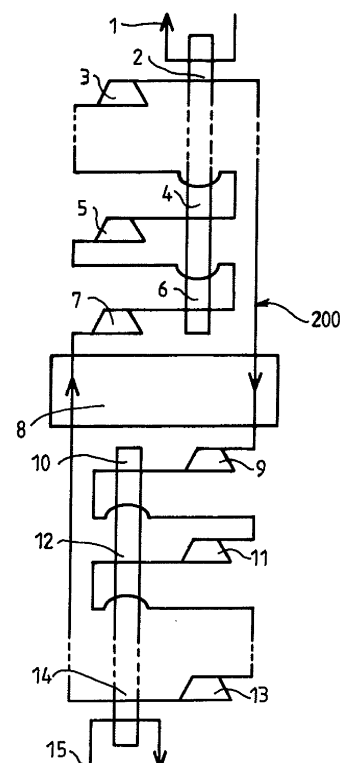


FIG.1

Description

[0001] La présente invention concerne un dispositif et un procédé de réfrigération cryogénique.

[0002] L'invention concerne plus particulièrement un dispositif de réfrigération cryogénique destiné à transférer de la chaleur d'une source froide vers une source chaude via un fluide de travail circulant dans un circuit de travail fermé, le circuit de travail comprenant en série : une portion de compression, une portion de refroidissement, une portion de détente et une portion de réchauffement.

[0003] La source froide peut être par exemple de l'azote liquide à refroidir et la source chaude de l'eau ou de l'air.

[0004] Des réfrigérateurs connus pour refroidir des éléments supraconducteurs utilisent en général un cycle de Brayton inverse. Ces réfrigérateurs connus utilisent un compresseur lubrifié à vis, un échangeur à contre courant à plaques et une turbine de détente.

[0005] Ces réfrigérateurs connus présentent de nombreux inconvénients parmi :

- un faible rendement énergétique du cycle et par conséquent du réfrigérateur,
- l'utilisation d'huile pour refroidir et lubrifier le compresseur, ceci impose une opération de déshuilage du gaz de travail après compression,
- l'utilisation de joints tournants entre le moteur électrique et le compresseur,
- le faible rendement isotherme de compression du compresseur,
- la périodicité des opérations de maintenance.

[0006] Le document US-3,494,145 décrit un système de réfrigération utilisant des accouplements via engrenages nécessitant des paliers à huile. Ce type de dispositif utilise des joints tournants tels que les garnitures mécaniques entre le gaz de travail et le carter des engrenages et des paliers à huile. Cette architecture augmente les risques de fuite du gaz de travail et la pollution possible du gaz de travail par l'huile. Ce système concerne par ailleurs un moteur de type basse vitesse.

[0007] Le document US-4,984,432 décrit un système de réfrigération utilisant des compresseurs ou des turbines de type à anneau liquide fonctionnant avec un moteur à basse vitesse utilisant des paliers classiques tels que les roulements à billes. Cette technologie relève des compresseurs et turbines volumétriques.

[0008] Un but de la présente invention est de pallier tout ou partie des inconvénients de l'art antérieur relevés ci-dessus.

[0009] A cette fin, l'invention propose un dispositif de réfrigération cryogénique destiné à transférer de la chaleur d'une source froide vers une source chaude via un fluide de travail circulant dans un circuit de travail fermé, le circuit de travail comprenant en série : une portion de compression sensiblement isotherme du fluide, une por-

tion de refroidissement sensiblement isobare du fluide, une portion de détente sensiblement isotherme du fluide et une portion de réchauffement sensiblement isobare du fluide, la portion de compression du circuit de travail comprenant au moins deux compresseurs disposés en série et au moins un échangeur de refroidissement du fluide comprimé disposé à la sortie de chaque compresseur, la portion de détente du circuit de travail comprenant au moins une turbine de détente et au moins un échangeur de réchauffement du fluide détendu, le dispositif de réfrigération utilisant pour l'entraînement des compresseurs plusieurs moteurs à hautes vitesses, c'est-à-dire tournant à une vitesse de rotation de 10000 tours par minute ou plusieurs milliers de tours par minute. les compresseurs et la ou les turbines de détente étant entraînés par au moins un moteur dit à haute vitesse comprenant un arbre de sortie dont l'une des extrémité porte et entraîne en rotation par accouplement direct un premier compresseur et dont l'autre extrémité porte et entraîne en rotation par accouplement direct un second compresseur ou une turbine de détente.

[0010] Les compresseurs sont du type à compression centrifuge. La ou les turbines de détente sont du type à détente centripète. Les moteurs à haute vitesse utilisent des paliers magnétiques ou dynamiques à gaz.

[0011] De plus, le dispositif comprend un nombre de compresseurs égal à trois fois le nombre de turbines de détente.

[0012] Les modes de réalisation permettent d'obtenir un système sans pollution d'huile et sans contact. En effet, la combinaison de compresseurs centrifuges, des turbines centripètes et des paliers selon l'invention réduit ou supprime tout contact avec les parties fixes et les parties tournantes. Ceci permet d'éviter tout risque de fuite. L'ensemble du système est en effet hermétique et ne comporte aucun joint tournant vis-à-vis de l'atmosphère (tel que des garnitures mécaniques ou des « dry face seal »).

[0013] Par ailleurs, des modes de réalisation de l'invention peuvent comporter l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- ,
- ,
- les arbres de sortie des moteurs sont montés sur des paliers de type magnétique ou de type dynamique à gaz, lesdits paliers étant utilisés pour sustenter les compresseurs et les turbines,
- la portion de refroidissement et la portion de réchauffement comprennent un échangeur de chaleur commun dans lequel le fluide de travail transite à contre-courant selon qu'il est refroidi ou réchauffé,
- le circuit de travail comprend un volume formant une capacité tampon de stockage du fluide de travail,
- le fluide de travail est en phase gazeuse et constitué d'un gaz pur ou d'un mélange de gaz purs parmi : l'hélium, le néon, l'azote, l'oxygène, l'argon, le monoxyde de carbone, le méthane, ou tout autre fluide

présentant une phase gazeuse à la température de la source froide.

[0014] L'invention propose en outre un procédé de réfrigération cryogénique destiné à transférer de la chaleur d'une source froide vers une source chaude via un fluide de travail circulant dans un circuit de travail fermé d'un tel dispositif, le circuit de travail comprenant en série : une portion de compression comprenant au moins deux compresseurs disposés en série, une portion de refroidissement du fluide, une portion de détente comprenant au moins une turbine de détente, et une portion de réchauffement, le procédé comprenant un cycle de travail comportant une première étape de compression sensiblement isotherme du fluide dans la portion de compression par refroidissement du fluide comprimé en sortie des compresseurs, une seconde étape de refroidissement sensiblement isobare du fluide dans la portion de refroidissement, une troisième étape de détente sensiblement isotherme du fluide dans la portion de détente par réchauffement du fluide détendu en sortie de turbine, et une quatrième étape de réchauffement sensiblement isobare du fluide ayant échangé thermiquement avec la source froide, le cycle de travail du fluide (température T, entropie S) étant du type Ericsson inverse.

[0015] Par ailleurs, des modes de réalisation de l'invention peuvent comporter l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- lors de la première étape de compression sensiblement isotherme, le fluide comprimé est refroidit en sortie de chaque compresseur pour maintenir les températures du fluide en entrée et en sortie de chaque compresseur sensiblement égales et de préférence dans une fourchette d'environ 10 K,
- lors de la troisième étape de détente sensiblement isotherme le fluide détendu est refroidit en sortie de chaque turbine pour maintenir les températures du fluide en entrée et en sortie de chaque turbine sensiblement égales et de préférence dans une fourchette d'environ 5 K,
- les compresseurs et la ou les turbines de détente sont entraînée par au moins un moteur dit à haute vitesse comprenant un arbre de sortie dont l'une des extrémité porte et entraîne en rotation par accouplement direct un premier compresseur et dont l'autre extrémité porte et entraîne en rotation par accouplement direct un second compresseur ou une turbine de détente et en ce que le procédé comprend une étape de transfert d'une partie du travail mécanique de la ou des turbines vers le ou les compresseurs via le ou les arbres de sortie,
- à l'issue de la seconde étape de refroidissement le fluide de travail est amené à une température basse de l'ordre de 60 K,
- le fluide de travail est utilisé pour refroidir ou maintenir en froid des éléments supraconducteurs à une température de l'ordre de 65 K,

- la chute de température du fluide constituant la source froide est sensiblement identique à l'augmentation de température du gaz dans les échangeurs.

[0016] L'invention peut présenter l'un ou plusieurs des avantages suivants :

- le cycle du fluide de travail (type Ericsson inverse) permet d'obtenir un rendement plus important que les systèmes connus sans pour autant créer ou augmenter d'autres inconvénients,
- le travail de détente dans les turbines peut être avantageusement valorisé,
- il est possible de s'affranchir de l'utilisation d'huile pour la lubrification ou le refroidissement, ceci permet de supprimer l'installation de déshuilage en aval du compresseur, ainsi que les opérations de traitement et de recyclage des huiles usagées,
- le système ne nécessite qu'un faible nombre de pièces mobiles ce qui accroît sa simplicité et sa fiabilité. Il est possible grâce à l'invention de s'affranchir pour le compresseur d'une transmission de puissance mécanique du type multiplicateur de vitesse, joints de cardan, ...
- les opérations de maintenance sont réduites voir pratiquement inexistantes,
- le système permet d'éviter des joints tournant et d'utiliser un système totalement hermétique vis à vis de l'extérieur. Ceci empêche toute perte ou pollution du gaz de cycle de travail,
- l'encombrement du réfrigérateur peut être réduit par rapport aux systèmes connus.

[0017] D'autres particularités et avantages apparaîtront à la lecture de la description ci-après, faite en référence aux figures dans lesquelles :

- la figure 1 représente une vue schématique illustrant la structure et le fonctionnement d'un premier exemple de réalisation de dispositif de réfrigération selon l'invention,
- la figure 2 représente de façon schématique un détail de la figure 1 illustrant un agencement d'un moteur d'entraînement d'un ensemble compresseur-compresseur ou compresseur-turbine,
- la figure 3 représente de façon schématique un exemple de cycle de travail du fluide de travail du réfrigérateur de la figure 1,
- la figure 4 représente une vue schématique illustrant la structure et le fonctionnement d'un second exemple de réalisation d'un réfrigérateur selon l'invention,
- la figure 5 représente de façon schématique un second exemple de cycle de travail du fluide de travail du réfrigérateur selon la figure 3.

[0018] En se référant à l'exemple de réalisation de la figure 1, le réfrigérateur selon l'invention est prévu pour transférer de la chaleur d'une source froide 15 à une

température cryogénique vers une source chaude à température ambiante 1 par exemple.

[0019] La source froide 15 peut être, par exemple, de l'azote liquide à refroidir et la source chaude 1 de l'eau ou de l'air. Pour réaliser ce transfert de chaleur, le réfrigérateur illustré à la figure 1 utilise un circuit de travail 200 d'un gaz de travail comprenant les composants listés ci-dessous.

[0020] Le circuit 200 comprend plusieurs compresseurs 3, 5, 7 centrifuges disposés en série et fonctionnant à température ambiante.

[0021] Le circuit 200 comprend plusieurs échangeurs de chaleur 2, 4, 6 fonctionnant à température ambiante disposés respectivement à la sortie des compresseurs 3, 5, 7. Les températures du gaz de travail en entrée et en sortie, de chaque étage de compression (c'est-à-dire à l'entrée et à la sortie de chaque compresseur 3, 5, 7), sont maintenues par les échanges thermiques à un niveau sensiblement identique (cf. zone A sur la figure 3 qui représente un cycle de travail du gaz : température en K en fonction de l'entropie S en J/kg). A la figure 3, les parties montantes de la zone A en dents de scie correspondant chacune à un étage de compression tandis que les parties descendantes de cette zone A correspondent chacune à un refroidissement par échangeur.

[0022] Cette disposition permet de se rapprocher d'une compression isotherme. Les températures d'entrée et de sortie, de chaque étage de compression, sont sensiblement les mêmes.

[0023] Les échangeurs 2, 4, 6 peuvent être distincts ou être constitués de portions distinctes d'un même échangeur en échange thermique avec la source chaude 1.

[0024] Le réfrigérateur comprend plusieurs moteurs (70 cf. figure 2) dits à haute vitesse. Par moteur à haute vitesse on désigne habituellement des moteurs dont la vitesse de rotation permet un accouplement direct avec un étage de compression centrifuge ou un étage de détente centripète. Les moteurs 70 à haute vitesse utilisent de préférence des paliers magnétiques ou dynamiques à gaz 171 (figure 2). Un moteur à haute vitesse tourne typiquement à une vitesse de rotation de 10 000 tours par minute ou plusieurs dizaines de milliers de tours par minute. Un moteur basse vitesse tourne plutôt avec une vitesse de quelques milliers de tours par minute.

[0025] En aval de la portion de compression comprenant les compresseurs en série, le réfrigérateur comprend un échangeur 8 de chaleur de préférence de type à plaques à contre courant séparant les éléments à température ambiante (en partie haute du circuit 200 représenté à la figure 1) des éléments à température cryogéniques (en partie inférieure du circuit 200). Le fluide est refroidit (correspondant à la zone D de la figure 3). Le refroidissement du gaz de la température ambiante à la température cryogénique s'effectue par échange à contre courant avec le même gaz de travail gaz à température cryogénique qui revient de la portion de détente après échange thermique avec la source froide 15.

[0026] En aval de cette portion de refroidissement constituée par l'échangeur 8 à plaques, le circuit comporte une ou plusieurs turbines 9, 11, 13 de détente, de préférence de type centripètes, disposées en série. Les turbines 9, 11, 13 fonctionnent à température cryogéniques, les températures d'entrée et de sortie de chaque étage de détente (entrée et sortie de turbine) sont maintenues sensiblement identiques par un ou plusieurs échangeurs de chaleur 10, 12, 14 cryogéniques disposés à la sortie de la ou des turbines. Ceci correspond à la zone C de la figure 3, les portions descendantes de la zone C correspondant chacune à un étage de détente tandis que les portions montantes de cette zone correspondent au réchauffement dans les échangeurs 10, 12, 14. Cette disposition permet de se rapprocher d'une détente isotherme. Les températures d'entrée et de sortie de chaque étage de détente sont sensiblement les mêmes. De plus et afin d'augmenter le rendement du réfrigérateur, l'augmentation de la température du gaz de travail dans le ou les échangeur (10, 12, 14) peut être sensiblement identique (en valeur absolue) à la baisse de la température du fluide à refroidir (15) (source froide).

[0027] Ces échangeurs 10, 12, 14 de réchauffement peuvent être distincts ou être constitués de portions distinctes d'un même échangeur en échange thermique avec la source froide 15.

[0028] En aval de la portion de détente et de l'échange thermique avec la source froide 15, le fluide de travail échange thermiquement à nouveau avec l'échangeur 8 de chaleur à plaques (zone B de la figure 3). Le fluide échange thermiquement dans l'échangeur 8 à contre courant par rapport à son passage après la portion de compression. Après réchauffage le fluide revient dans la portion de compression et peut recommencer un cycle.

[0029] Le circuit peut comprendre en outre une capacité de gaz de travail à température ambiante (non représentée par souci de simplification) pour limiter la pression dans les circuits, lors de l'arrêt du réfrigérateur par exemple.

[0030] Le réfrigérateur utilise de préférence comme fluide de travail un fluide en phase gazeuse circulant en circuit fermé. Celui-ci est constitué par exemple d'un gaz pur ou d'un mélange de gaz pur. Les gaz les mieux adaptés à cette technologie sont notamment : l'hélium, le néon, l'azote, l'oxygène et l'argon. Le monoxyde de carbone et le méthane peuvent également être utilisés.

[0031] Le réfrigérateur est conçu et piloté ainsi de façon à obtenir un cycle de travail du fluide se rapprochant du cycle d'Ericsson inverse. C'est à dire: une compression isotherme, un refroidissement isobare, une détente isotherme et un réchauffement isobare.

[0032] Selon une particularité avantageuse le réfrigérateur utilise pour l'entraînement au moins des compresseurs 3, 5, 7 (c'est-à-dire pour l'entraînement des roues des compresseurs) plusieurs moteurs 70 dits à hautes vitesses.

[0033] Comme schématisé à la figure 2, chaque moteur 70 à haute vitesse reçoit sur une des extrémités de

son arbre de sortie une roue de compresseur 31 et, sur l'autre extrémité de son arbre une autre roue de compresseur ou une roue de turbine 9. Cette disposition procure de nombreux avantages. Cette configuration permet dans le réfrigérateur un accouplement direct entre le moteur 70 et les roues de compresseur 3, 5, 7 ou entre le moteur 70 et les roues des turbines 9, 11, 13. Ceci permet de s'affranchir d'un multiplicateur ou réducteur de vitesse (ce qui limite le nombre de pièces mobiles nécessaires). Cette configuration permet également une valorisation du travail mécanique de la ou des turbines 9, 11, 13 et par conséquent une augmentation du rendement énergétique global du réfrigérateur. Selon cette configuration, le réfrigérateur a un fonctionnement sans huile, ce qui permet de garantir la pureté du gaz de travail et supprime la nécessité d'une opération de déshuilage.

[0034] Le nombre de moteur à haute vitesse est principalement fonction du rendement énergétique souhaité pour le réfrigérateur. Plus ce rendement est important, plus le nombre de moteur haute vitesse doit être élevé.

[0035] Le rapport entre le nombre d'étage de compression (compresseurs) et le nombre d'étages de détente (turbines) est fonction de la température froide cible. Par exemple, pour un réfrigérateur dont la source froide est à 273 K, le nombre d'étage de compression sera sensiblement égal au nombre d'étage de détente. Pour un réfrigérateur dont la source froide est à 65 K, le nombre d'étage de compression est environ 3 fois plus important que le nombre d'étage de détente.

[0036] La figure 4 illustre un autre mode de réalisation qui peut par exemple être utilisé pour refroidir ou maintenir en température des câbles supraconducteurs à une température cryogénique d'environ 65 K. Pour ce niveau de température, le nombre d'étage de compression (compresseurs) doit être environ trois fois plus important que le nombre d'étages de détente (turbines). Ceci peut être réalisé selon plusieurs configurations possibles. Par exemple trois compresseurs et une turbine ou six compresseurs et deux turbines,...

[0037] Le choix du nombre d'organe sera fonction du rendement énergétique souhaité. Ainsi, une solution utilisant trois compresseurs et une turbine aura un rendement énergétique moins important qu'une solution utilisant six compresseurs et deux turbines.

[0038] Dans l'exemple de la figure 4 le réfrigérateur comprend six compresseurs 101, 102, 103, 104, 105, 106 et deux turbines 116, 111 et quatre moteurs à haute vitesse 107, 112, 114, 109. Les deux premiers compresseurs 101, 102 (c'est-à-dire les roues des compresseurs) sont montés respectivement aux deux extrémités d'un premier moteur haute vitesse 107. Les deux compresseurs 103, 104 suivants sont montés respectivement aux deux extrémités d'un second moteur haute vitesse 112. Le compresseur suivant 105 et la turbine 116 (c'est-à-dire la roue de la turbine) sont montés respectivement aux deux extrémités d'un troisième moteur haute vitesse 114. Enfin, la dernière turbine 111 et le sixième compresseur 106 sont montés respectivement aux deux extrémi-

tés d'un quatrième moteur 109.

[0039] Le cheminement du gaz de travail lors d'un cycle dans le circuit en boucle fermée peut être décrit comme suit.

5 **[0040]** Lors d'une première étape le gaz est comprimé progressivement en passant successivement dans les quatre compresseurs en série 101, 102, 103, 104, 105, 106.

10 **[0041]** A l'issue de chaque étage de compression (à la sortie de chaque compresseur) le gaz de travail est refroidi dans un échangeur de chaleur respectif 108 (par échange thermique avec de l'air ou de l'eau par exemple) pour se rapprocher d'une compression isotherme. Après cette portion de compression le gaz est refroidi de façon isobare au travers d'un échangeur à plaques à contre-courant 103. Après cette portion de refroidissement, le gaz de refroidissement est détendu progressivement dans les deux turbines centripètes en série 116, 111. Après chaque étage de détente le gaz de travail est réchauffé par échange thermique dans un échangeur 110 (par exemple par échange thermique avec la source froide), de façon à réaliser une détente sensiblement isotherme. A l'issue de cette détente isotherme le gaz de travail est réchauffé dans l'échangeur 113 et peut ensuite recommencer un nouveau cycle par une compression.

20 **[0042]** La figure 5 représente le cycle (température T et entropie S) du fluide de travail du réfrigérateur de la figure 5. Comme précédemment pour la figure 3, on distingue dans la zone A de compression six dents de scie correspondant aux six compressions et refroidissements successifs. Dans la zone C de détente on reconnaît deux dents de scie correspondant aux deux détentes et réchauffement successifs.

25 **[0043]** L'invention améliore les réfrigérateurs cryogéniques en terme de rendement énergétique, de fiabilité et d'encombrement. L'invention permet de diminuer les opérations de maintenance et de supprimer l'utilisation d'huiles.

30 **[0044]** Bien entendu l'une ou les deux extrémités des arbres de sortie du ou des moteurs peuvent entraîner directement plus d'une roue (c'est-à-dire plusieurs compresseurs ou plusieurs turbines).

45 Revendications

1. Dispositif de réfrigération cryogénique destiné à transférer de la chaleur d'une source froide (15) vers une source (1) chaude via un fluide de travail circulant dans un circuit (200) de travail fermé, le circuit (200) de travail comprenant en série : une portion de compression sensiblement isotherme du fluide, une portion de refroidissement sensiblement isobare du fluide, une portion de détente sensiblement isotherme du fluide et une portion de réchauffement sensiblement isobare du fluide, la portion de compression du circuit (200) de travail comprenant au moins deux compresseurs (7, 5, 3, 101, 102, 103,

104, 105, 106) disposés en série et au moins un échangeur (6, 4, 2, 108) de refroidissement du fluide comprimé disposé à la sortie de chaque compresseur (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106), la portion de détente du circuit (200) de travail comprenant au moins une turbine (9, 11, 13, 116, 111) de détente et au moins un échangeur (10, 12, 14, 110) de réchauffement du fluide détendu, le dispositif comprenant un nombre de compresseurs égal à trois fois le nombre de turbines de détente, le dispositif de réfrigération utilisant pour l'entraînement des compresseurs plusieurs moteurs à hautes vitesses, c'est-à-dire tournant à une vitesse de rotation de 10000 tours par minute ou plusieurs milliers de tours par minute, le dispositif comprenant pour l'entraînement des des compresseurs (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106) et de la ou les turbines (9, 11, 13) de détente, au moins un moteur (70, 107, 112, 114, 109) à haute vitesse comprenant un arbre de sortie dont l'une des extrémité porte et entraîne en rotation par accouplement direct un premier compresseur (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106) et dont l'autre extrémité porte et entraîne en rotation par accouplement direct un second compresseur (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106) ou une turbine (9, 11, 13, 116, 111) de détente, et en ce que les compresseurs (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106) sont du type à compression centrifuge, et en ce que la ou les turbines (9, 11, 13, 116, 111) de détente sont du type à détente centripète, les moteurs à haute vitesse utilisant des paliers magnétiques ou dynamiques à gaz..

2. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'il** comprend l'une des deux configurations suivantes : trois compresseurs et une turbine ou six compresseurs et deux turbines.

3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** la portion de refroidissement et la portion de réchauffement comprennent un échangeur de chaleur (8, 113) commun dans lequel le fluide de travail transite à contre-courant selon qu'il est refroidit ou réchauffé.

4. Dispositif selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** l'échangeur de chaleur (8, 113) commun est du type à plaques à contre courant et sépare les éléments du circuit à température ambiante des éléments du circuit à température cryogéniques.

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** le circuit de travail comprend un volume formant une capacité tampon de stockage du fluide de travail.

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** le fluide de travail est en phase gazeuse et constitué d'un gaz pur ou

d'un mélange de gaz purs parmi : l'hélium, le néon, l'azote, l'oxygène, l'argon, le monoxyde de carbone, le méthane, ou tout autre fluide présentant une phase gazeuse à la température de la source froide.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce qu'il** comporte au moins un moteur (70, 107, 112, 114, 109) dont au moins l'une des extrémités de l'arbre de sortie entraîne en rotation par accouplement direct au moins deux roues (roues de compresseur et/ou roues de turbine).

8. Dispositif selon la revendication 7, **caractérisé en ce qu'il** comporte au moins un moteur dont une extrémité de son arbre de sortie entraîne en rotation par accouplement direct deux roues de compresseur, l'autre extrémité de l'arbre de sortie entraînant en rotation par accouplement direct une roue de turbine.

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** les arbres de sortie des moteurs sont montés sur des paliers de type magnétique ou de type dynamique à gaz, lesdits paliers étant utilisés pour sustenter les compresseurs et les turbines.

10. Procédé de réfrigération cryogénique destiné à transférer de la chaleur d'une source froide (15) vers une source (1) chaude via un fluide de travail circulant dans un circuit (200) de travail fermé d'un dispositif de réfrigération conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 9, le circuit (200) de travail comprenant en série : une portion de compression comprenant au moins deux compresseurs (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106) disposés en série, une portion de refroidissement du fluide, une portion de détente comprenant au moins une turbine (9, 11, 13, 116, 111) de détente, et une portion de réchauffement, le procédé comprenant un cycle de travail comportant une première étape de compression sensiblement isotherme du fluide dans la portion de compression par refroidissement du fluide comprimé en sortie des compresseurs (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106), une seconde étape de refroidissement sensiblement isobare du fluide dans la portion de refroidissement, une troisième étape de détente sensiblement isotherme du fluide dans la portion de détente par réchauffement du fluide détendu en sortie de turbine, et une quatrième étape de réchauffement sensiblement isobare du fluide ayant échangé thermiquement avec la source froide (15), le cycle de travail du fluide (température T, entropie S) étant du type Ericsson inverse, lors de la première étape de compression sensiblement isotherme, le fluide comprimé est refroidit en sortie de chaque compresseur (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106) pour

maintenir les températures du fluide en entrée et en sortie de chaque compresseur sensiblement égales et de préférence dans une fourchette d'environ 10 K, lors de la troisième étape de détente sensiblement isotherme le fluide détendu étant refroidi en sortie de chaque turbine (9, 11, 13, 116, 111) pour maintenir les températures du fluide en entrée et en sortie de chaque turbine (9, 11, 13, 116, 111) sensiblement égales et de préférence dans une fourchette d'environ 5 K, le dispositif comprenant un nombre de compresseurs égal à trois fois le nombre de turbines de détente, **caractérisé en ce que** le dispositif de réfrigération utilisant pour l'entraînement des compresseurs plusieurs moteurs à hautes vitesses, c'est-à-dire tournant à une vitesse de rotation de 1000 tours par minute ou plusieurs milliers de tours par minute, le dispositif comprenant pour l'entraînement des compresseurs (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106) et la ou les turbines (9, 11, 13, 116, 111) de détente au moins un moteur (70, 107, 112, 114, 109) dit à haute vitesse comprenant un arbre de sortie dont l'une des extrémité porte et entraîne en rotation par accouplement direct un premier compresseur (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106) et dont l'autre extrémité porte et entraîne en rotation par accouplement direct un second compresseur (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106) ou une turbine (9, 11, 13, 116, 111) de détente et **en ce que** les compresseurs (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106) sont du type à compression centrifuge, et **en ce que** la ou les turbines (9, 11, 13, 116, 111) de détente sont du type à détente centripète, et **en ce que** le procédé comprend une étape de transfert d'une partie du travail mécanique de la ou des turbines (9, 11, 13, 116, 111) vers le ou les compresseurs (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106) via le ou les arbres de sortie (71), les moteurs à haute vitesse utilisant des paliers magnétiques ou dynamiques à gaz..

11. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en ce qu'**à l'issue de la seconde étape de refroidissement, le fluide de travail est amené à une température basse de l'ordre de 60 K.

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 10 ou 10, **caractérisé en ce que** le fluide de travail est utilisé pour refroidir ou maintenir en froid des éléments supraconducteurs à une température de l'ordre de 65 K.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 9 à 11, **caractérisé en ce que** la chute de température du fluide constituant la source froide (15) est sensiblement identique à l'augmentation de température du gaz de travail dans des échangeurs (110, 10, 12, 14) de chaleur du circuit (200) de travail.

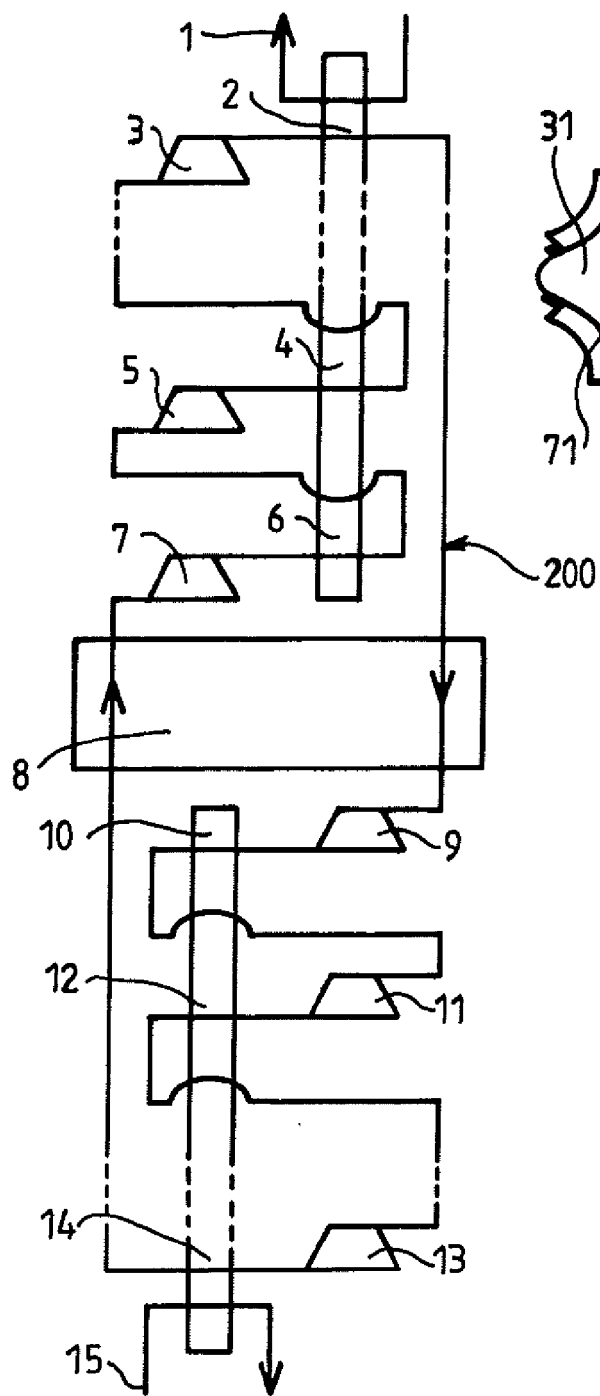


FIG. 1

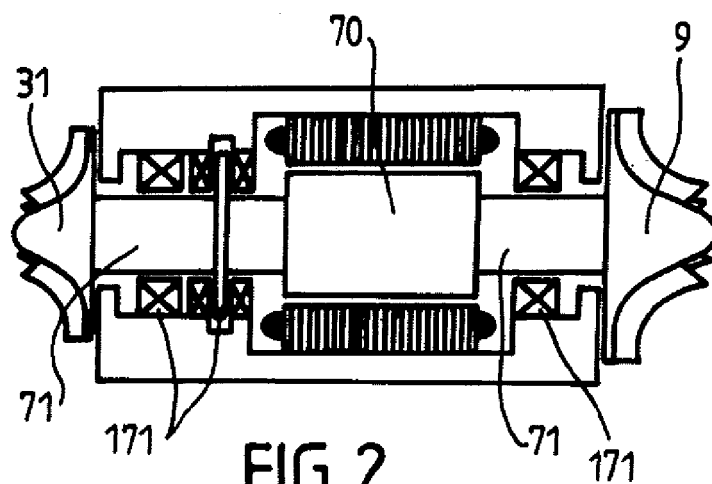


FIG. 2

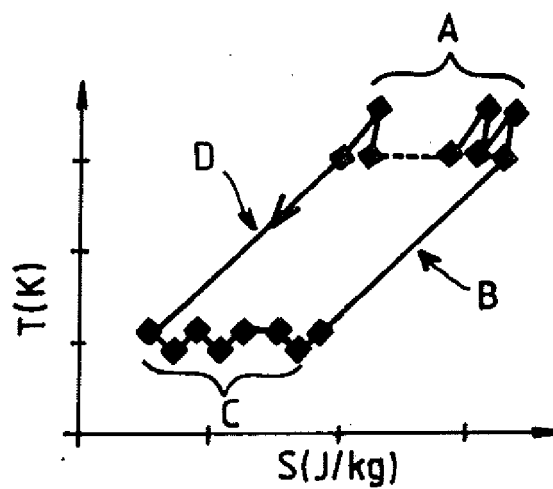


FIG. 3

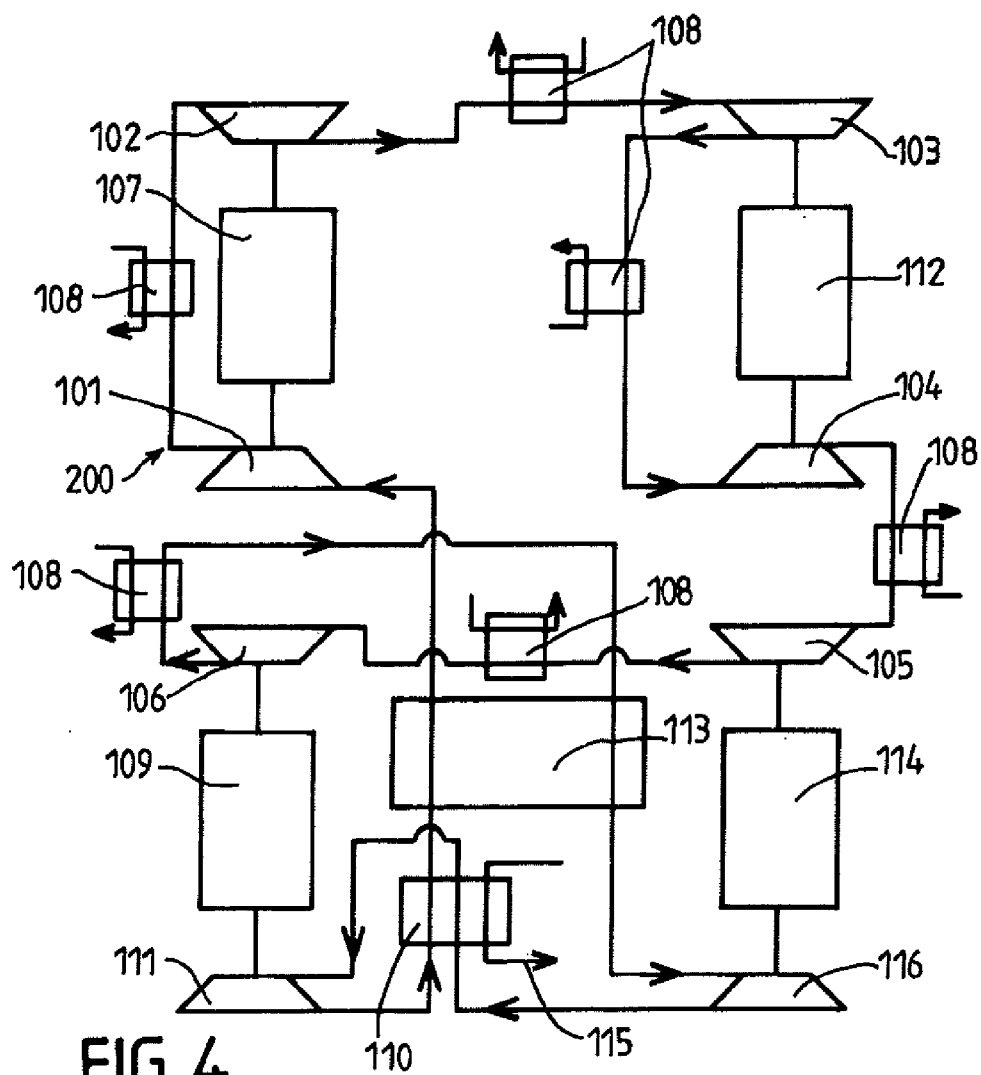


FIG. 4

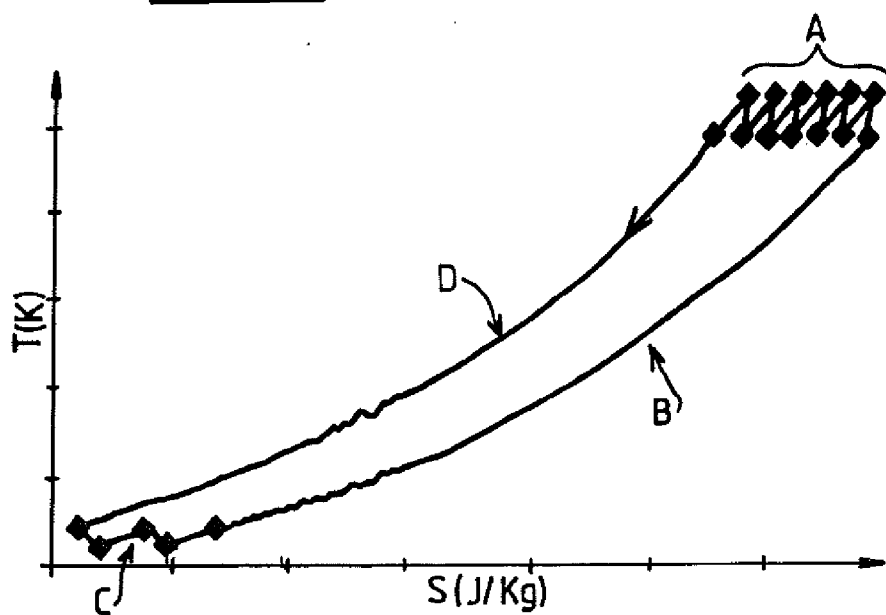


FIG. 5



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 19 17 4805

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
Y	DE 24 40 215 A1 (LINDE AG) 4 mars 1976 (1976-03-04) * figure 1 *	1-13	INV. F25B1/10 F25B9/14 F25B9/10 F25B9/06 F25J1/00 F25J1/02
Y	EP 1 801 518 A1 (MITSUBISHI HEAVY IND LTD [JP]; INT CT ENVIRONMENTAL TECH TFR [JP]) 27 juin 2007 (2007-06-27) * abrégé; figure 9 * * alinéas [0003], [0008] - [0009], [0086] * -& EP 1 801 518 B1 (MITSUBISHI HEAVY IND LTD [JP]; INT CT ENVIRONMENTAL TECH TFR [JP]) 11 septembre 2013 (2013-09-11)	1-13	
A	N. Saji ET AL: "Design of oil-free simple turbo type 65 K/6 KW helium and neon mixture gas refrigerator for high temperature superconducting power cable cooling", 15 mai 2002 (2002-05-15), pages 893-900, XP055598218, DOI: https://doi.org/10.1063/1.1472109 Extrait de l'Internet: URL: https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.1472109?class=pdf [extrait le 2019-06-20] * le document en entier *	1-13	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) F02G F25J F25B
A	US 4 984 432 A (COREY JOHN A [US]) 15 janvier 1991 (1991-01-15) * colonne 6, lignes 26-31; figures 5,6 *	1-13	
A	FR 2 696 708 A (BARBER COLMAN CO [US]) 15 avril 1994 (1994-04-15) * page 1, ligne 34 - page 3, ligne 6; revendication 1; figures 1,2 *	1-13	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 20 septembre 2019	Examineur Léandre, Arnaud
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 19 17 4805

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	US 5 473 899 A (VITERI FERMIN [US]) 12 décembre 1995 (1995-12-12) * figures 1,3a,8,14 *	1-13	
A	US 3 494 145 A (DAVIS HUNT ET AL) 10 février 1970 (1970-02-10) * figures 1,2 *	1-13	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 20 septembre 2019	Examineur Léandre, Arnaud
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 19 17 4805

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

20-09-2019

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 2440215 A1	04-03-1976	AUCUN	
EP 1801518 A1	27-06-2007	EP 1801518 A1	27-06-2007
		JP 4370328 B2	25-11-2009
		JP WO2006011248 A1	01-05-2008
		US 2007101755 A1	10-05-2007
		WO 2006011248 A1	02-02-2006
EP 1801518 B1	11-09-2013	EP 1801518 A1	27-06-2007
		JP 4370328 B2	25-11-2009
		JP WO2006011248 A1	01-05-2008
		US 2007101755 A1	10-05-2007
		WO 2006011248 A1	02-02-2006
US 4984432 A	15-01-1991	US 4984432 A	15-01-1991
		WO 9105974 A1	02-05-1991
FR 2696708 A	15-04-1994	CA 2104632 A1	15-04-1994
		DE 4334662 A1	21-04-1994
		FR 2696708 A1	15-04-1994
		GB 2272050 A	04-05-1994
		US RE36101 E	16-02-1999
		US 5310311 A	10-05-1994
US 5473899 A	12-12-1995	AUCUN	
US 3494145 A	10-02-1970	AUCUN	

EPO FORM P0480

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

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

- US 3494145 A [0006]
- US 4984432 A [0007]