



(51) Classification internationale des brevets :
F25B 9/00 (2006.01) F25B 5/02 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2012/050864

(22) Date de dépôt international :
20 avril 2012 (20.04.2012)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1153941 9 mai 2011 (09.05.2011) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : L'AIR LIQUIDE, SOCIÉTÉ ANONYME POUR L'ÉTUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCÉDES GEORGES CLAUDE [FR/FR]; 75, quai d'Orsay, F-75007 Paris (FR).

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : DURAND, Fabien [FR/FR]; 8, rue du Docteur Rome, F-38340 Voireppe (FR).

(74) Mandataire : DE CUENCA, Emmanuel; L'Air Liquide S.A., Direction de la Propriété Intellectuelle, 75, quai d'Orsay, F-75321 Paris Cedex 07 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : CRYOGENIC COOLING DEVICE AND METHOD

(54) Titre : DISPOSITIF ET PROCÉDE DE REFROIDISSEMENT CRYOGENIQUE

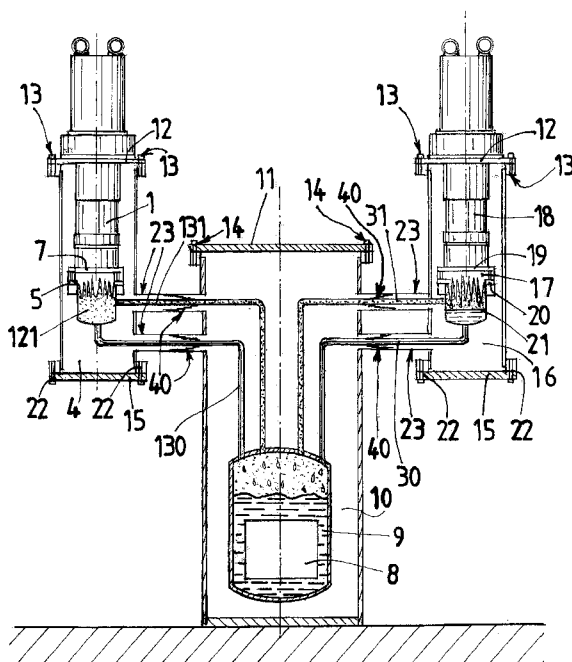


FIG. 1

(57) Abstract : Cryogenic cooling method and device comprising a main cryogenic cooler (18) comprising a cold head (19) positioned in a first chamber (16) selectively placed under vacuum, a reservoir (9) of working fluid placed in a second chamber (10) selectively placed under vacuum, a member (8) to be cooled being placed in the reservoir (9) in heat exchange with the working fluid, the cold head (19) of the main cryogenic cooler (18) being thermally connected to a heat exchanger (17) which is itself fluidically connected to the reservoir (9) via pipes (30, 31) forming a first circulation loop for the working fluid, the pipes (30, 31) passing from the first (16) to the second (10) chamber, characterized in that the volumes selectively under vacuum of the first (16) and second (10) chambers are independent and in that the device comprises a secondary cryogenic cooler (1) comprising a cold head (7) placed in a third chamber (4) selectively placed under vacuum, the cold head (7) of the secondary cryogenic cooler (1) being thermally connected to a heat exchanger (2) which is itself fluidically connected to the reservoir (9) via pipes (130, 131) forming a second circulation loop for the working fluid, and in that the volume selectively under vacuum of the third chamber (4) is independent of the volumes selectively under vacuum of the first (16) and second (10) chambers.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :
— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport (règle 48.2.g))*

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv))*

Procédé et dispositif de refroidissement cryogénique comprenant un cryo-refroidisseur (18) principal comportant une tête froide (19) disposée dans une première enceinte (16) sélectivement mise sous vide, un réservoir (9) de fluide de travail disposé dans une seconde enceinte (10) sélectivement mise sous vide, un organe (8) à refroidir étant disposé dans le réservoir (9) en échange thermique avec le fluide de travail, la tête (19) froide du cryo-refroidisseur (18) principal étant reliée thermiquement avec un échangeur de chaleur (17), lui-même relié fluidiquement avec le réservoir (9) via des conduites (30, 31) formant une première boucle de circulation pour le fluide de travail, les conduites (30, 31) transitant de la première (16) à la seconde (10) enceinte, caractérisé en ce que les volumes sélectivement sous vide des première (16) et seconde (10) enceintes sont indépendants et en ce que le dispositif comporte un cryo-refroidisseur (1) secondaire comprenant une tête froide (7) disposée dans une troisième enceinte (4) sélectivement mise sous vide, la tête (7) froide du cryo-refroidisseur (1) secondaire étant reliée thermiquement avec un échangeur de chaleur (2), lui-même relié fluidiquement avec le réservoir (9) via des conduites (130, 131) formant une seconde boucle de circulation pour le fluide de travail, et en ce que le volume sélectivement sous vide de la troisième enceinte (4) est indépendant des volumes sélectivement sous vide des première (16) et seconde (10) enceintes.

Dispositif et procédé de refroidissement cryogénique

La présente invention concerne un dispositif et un procédé de refroidissement cryogénique.

5 Il est à noter que les travaux menant à la présente invention ont bénéficié d'un soutien financier du septième programme-cadre de l'Union Européenne, 7e PC/2007-2013 en vertu de la convention de subvention n°241285.

L'invention concerne plus particulièrement un dispositif de refroidissement cryogénique comprenant un cryo-refroidisseur principal comportant une tête froide
10 disposée dans une première enceinte sélectivement mise sous vide, un réservoir de fluide de travail disposé dans une seconde enceinte sélectivement mise sous vide, un organe à refroidir étant disposé dans le réservoir en échange thermique avec le fluide de travail, la tête froide du cryo-refroidisseur principal étant reliée thermiquement avec un échangeur de chaleur, lui-même relié fluidiquement avec le
15 réservoir via des conduites formant une première boucle de circulation pour le fluide de travail, les conduites transitant de la première à la seconde enceinte.

Le document US20090049862A1 décrit un dispositif de réfrigération utilisant un cryo-refroidisseur (« cryocooler ») pour liquéfier un fluide de travail, par exemple de l'azote. Le fluide de travail liquéfié est utilisé classiquement pour refroidir une
20 application à très basse température, typiquement des câble supra-conducteurs.

Dans des applications électriques sensibles, ce type de refroidisseur doit pouvoir fonctionner sans interruption. Cependant, les solutions connues ne permettent pas la maintenance ou la réparation du dispositif de réfrigération de façon simple et aisée pour un opérateur minimisant l'impact sur la production de
25 froid.

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

A cette fin, le dispositif selon l'invention, par ailleurs conforme à la définition générique qu'en donne le préambule ci-dessus, est essentiellement caractérisé en
30 ce que les volumes sélectivement sous vide des première et seconde enceintes sont indépendants et en ce que le dispositif comporte un cryo-refroidisseur secondaire comprenant une tête froide disposée dans une troisième enceinte sélectivement mise sous vide, la tête froide du cryo-refroidisseur secondaire étant reliée thermiquement avec un échangeur de chaleur, lui-même relié fluidiquement
35 avec le réservoir via des conduites formant une seconde boucle de circulation pour le fluide de travail, et en ce que le volume sélectivement sous vide de la troisième enceinte est indépendant des volumes sélectivement sous vide des première et seconde enceintes.

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

- l'une au moins parmi les première et troisième enceintes est obturée de façon étanche par au moins un capot sélectivement démontable,
- 5 - au moins un capot sélectivement démontable est disposé dans la partie inférieure de l'enceinte, de façon adjacente à la tête froide,
- au moins un capot est monté de façon étanche sur le corps de l'enceinte via des vis de fixation,
- le dispositif comporte, autour des conduites transitant de la première à la
- 10 seconde enceinte, des barrières de vide assurant une séparation des volumes sélectivement sous vide des première et seconde enceintes, les barrières de vide étant disposées dans au moins une portion tubulaire formant une jonction entre la première et la seconde enceintes,
- le dispositif comporte, autour des conduites transitant de la troisième à la
- 15 seconde enceinte, des barrières de vide assurant une séparation des volumes sélectivement sous vide des troisième et seconde enceintes, les barrières de vide étant disposées dans au moins une portion tubulaire formant une jonction entre la troisième et la seconde enceintes,
- la tête froide du ou des cryo-refroidisseur est associée à un échangeur de
- 20 chaleur formant un condenseur pour le fluide de travail,
- la tête froide du cryo-refroidisseur principal est reliée au réservoir via deux conduites dont les extrémités amont sont raccordées à un volume hermétique disposé sous la tête froide du cryo-refroidisseur principal, les extrémités aval des conduites étant reliées à une extrémité supérieure du réservoir via une portion
- 25 verticale ou sensiblement verticale,
- la tête froide du cryo-refroidisseur secondaire est relié au réservoir via deux conduites dont les extrémités amont sont raccordée à un volume hermétique disposé sous la tête froide du cryo-refroidisseur secondaire et les extrémités aval sont reliées à une extrémité supérieure du réservoir via une portion verticale ou
- 30 sensiblement verticale,
- en configuration de fonctionnement, au moins l'un parmi : le cryo-refroidisseur principal et le cryo-refroidisseur secondaire est disposé selon une configuration verticale,
- les barrières de vide comprennent par exemple au moins l'un des organes
- 35 suivants : un système dit à « simple cône », un système dit à « double cône »,
- un réchauffeur, par exemple électrique, est monté sur au moins un échangeur de chaleur d'une tête froide d'un cryo-refroidisseur,

- la ou les enceintes sont mises sous vide d'air à une pression comprise entre 10^{-3} et 10^{-6} mbars,

- l'organe à refroidir comprend une bobine ou des câbles électriques supra-conducteurs,

5 - le dispositif comprend plusieurs cryo-refroidisseurs secondaires,

- le cryo-refroidisseur secondaire ou l'un des cryo-refroidisseurs secondaires est en fonctionnement et participe au refroidissement de l'organe en même temps que le cryo-refroidisseur principal,

10 - le fluide de travail comprend ou est constitué de l'un au moins parmi : de l'hélium, de l'hydrogène, du néon, l'azote, de l'argon, de l'oxygène, du méthane, du krypton, du xénon, du CnHm, de l'ammoniac, un CFC, un HCFC, un HFC ou tout autre fluide frigorigène,

- la boucle fluide peut utiliser un volume tampon pour limiter la remontée en pression de la boucle lorsque le système est à température ambiante.

15 L'invention concerne également un procédé de refroidissement à basse température d'un organe via un dispositif de refroidissement cryogénique selon l'une quelconque des caractéristiques ci-dessus ou ci-après, dans lequel cryo-refroidisseur principal est utilisé pour refroidir l'organe, la première enceinte et la seconde enceinte étant mises sous vide, le cryo-refroidisseur secondaire étant
20 sélectivement mis à l'arrêt ou en fonctionnement pendant que le cryo-refroidisseur principal est en fonctionnement.

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

25 - le cryo-refroidisseur principal est mis à l'arrêt et, simultanément ou de façon anticipée, le cryo-refroidisseur secondaire est démarré pour assurer le refroidissement de l'organe, la troisième enceinte étant mise sous vide ou maintenue sous vide,

30 - lors de la mise à l'arrêt d'un cryo-refroidisseur, la tête froide du cryo-refroidisseur mis à l'arrêt est réchauffée jusqu'à une température ambiante via l'une au moins des étapes suivantes : par réchauffement naturel spontané ; par un réchauffement actif commandé ; par circulation forcée de gaz à température ambiante dans l'enceinte du cryo-refroidisseur ou autour du ou des échangeurs via un tube bobiné ou tout autre dispositif ; par mise à la pression atmosphérique du volume de l'enceinte cryo-refroidisseur,

35 - le procédé comporte une étape de réparation ou de maintenance de l'un des deux cryo-refroidisseurs tandis que l'autre cryo-refroidisseur est en fonctionnement et assure le refroidissement de l'organe, le procédé comprenant :

- un arrêt ou un maintien de l'arrêt du fonctionnement du cryo-refroidisseur destiné à subir une réparation ou de maintenance,

- un maintien à une température ambiante ou une mise à une température ambiante du cryo-refroidisseur destiné à subir une réparation ou de maintenance,

5 - une ouverture de l'enceinte contenant le cryo-refroidisseur destiné à subir une réparation ou de maintenance,

- le démontage du cryo-refroidisseur destiné à subir une réparation ou de maintenance en vue de son remplacement ou de sa réparation sans relié à l'atmosphère le volume hermétique,

10 - un maintien du vide au sein de l'enceinte de l'autre cryo-refroidisseurs en fonctionnement ainsi que dans la seconde enceinte.

L'invention peut concerner également tout dispositif ou procédé alternatif comprenant toute combinaison des caractéristiques ci-dessus ou ci-dessous.

15 D'autres particularités et avantages apparaîtront à la lecture de la description ci-après, faite en référence à la figure unique qui représente une vue en coupe, schématique et partielle, illustrant la structure et le fonctionnement d'un dispositif de réfrigération selon un exemple de réalisation possible de l'invention.

En se référant à la figure, le dispositif de refroidissement cryogénique comprend un cryo-refroidisseur 18 principal comportant, classiquement, une tête froide 19. Le cryo-refroidisseur 18 principal (et en particulier la tête 19 froide) est disposé dans une première enceinte 16 sélectivement mise sous vide. La tête froide 19 est munie par exemple d'un échangeur 17 de chaleur pour assurer une liquéfaction d'un fluide de travail. L'échangeur 17 est par exemple vissé par des vis 20 à la base de la tête 19 froide.

25 En dessous de la tête froide 19 et de l'échangeur 17, le cryo-refroidisseur 18 principal délimite un volume 21 pour le fluide de travail liquéfié, ce volume étant relié via deux conduites respectivement supérieure 31 et inférieure 30, à un réservoir 9 de stockage du fluide travail liquéfié.

30 Ce réservoir 9 de stockage du fluide travail liquéfié contient l'organe 8 à refroidir par échange thermique (direct ou indirect) avec le fluide de travail liquéfié.

Le réservoir 9 de stockage est logé dans une seconde enceinte 10 sélectivement mise sous vide de façon indépendante par rapport à la première enceinte 16. C'est-à-dire que les conduites 30, 31 transitent de la première 16 à la seconde 10 enceinte à travers des portions tubulaires 23 formant des jonctions entre la première 16 et la seconde 10 enceintes.

La seconde enceinte 10 repose par exemple sur le sol via une base et est par exemple refermée de façon étanche en partie supérieure par un couvercle 11 amovible (par exemple via des vis 14).

L'indépendance des vides au sein des volumes des première 16 et seconde 10 enceintes est réalisé par exemple via une ou des barrières 40 de vide disposées respectivement autour des conduites 30, 31, à l'intérieur des portions tubulaires 23 formant les jonctions.

5 Les barrières 40 de vide peuvent comprendre tout système connu tel qu'un double cône.

Selon une caractéristique avantageuse, le dispositif comporte un cryo-refroidisseur 1 secondaire, par exemple du même type que refroidisseur 18 principal. Le cryo-refroidisseur 1 secondaire comporte une structure équivalente à celle décrite ci-dessus. C'est-à-dire que la tête 7 froide du cryo-refroidisseur 1
10 secondaire est disposée dans une troisième enceinte 4 sélectivement mise sous vide. Comme précédemment, la tête froide 7 est munie d'un échangeur 2 de chaleur pour assurer une liquéfaction d'un fluide de travail. L'échangeur 2 est vissé par des vis 5 à la base de la tête 7 froide.

15 En dessous de la tête froide 7 et de l'échangeur, le cryo-refroidisseur 1 secondaire délimite un volume 121 pour le fluide de travail liquéfié, ce volume 121 étant relié via deux conduites respectivement supérieure 131 et inférieure 130, au même réservoir 9 de stockage du fluide travail liquéfié.

Comme précédemment, la seconde enceinte 10 est sélectivement mise
20 sous vide de façon indépendante par rapport à la troisième enceinte 4. Les conduites 130, 131 transitent de la troisième 4 à la seconde 10 enceinte à travers des portions tubulaires 23 formant des jonctions entre la troisième 4 et la seconde 10 enceintes.

L'indépendance des vides au sein des volumes des troisième 4 et seconde
25 10 enceintes est réalisé via une ou des barrières 40 de vide disposées respectivement autour des conduites 130, 131, à l'intérieur des portions tubulaires 23 formant les jonctions.

De cette façon, les enceintes 16, 10 et 4 sont isolées les unes des autres par des barrières 40 à vide de façon à pouvoir mettre sous vide les différentes
30 enceinte indépendamment les unes des autres.

Dans le cas où le fluide de travail est de l'azote, le dispositif peut être utilisé pour maintenir l'organe 8 à une température cryogénique (par exemple de 100 K).

L'organe 8 à maintenir à température cryogénique peut être par exemple une bobine supraconductrice, un échangeur de chaleur en échange thermique
35 avec un autre fluide caloporteur, ou tout autre organe appropriée.

Dans un fonctionnement possible, l'organe 8 à refroidir baigne dans un bain d'azote liquide à une température de 100K par exemple.

La chaleur générée par l'organe 8 évapore une partie de l'azote liquide du bain 9. Cet azote gazeux chemine vers le haut via la conduite 31 supérieure du cryo-refroidisseur 18 principal. En arrivant sur l'échangeur 17 du cryo-refroidisseur 18 principal, l'azote gazeux est liquéfié à nouveau.

5 A cet effet, l'échangeur 17 est maintenu à une température légèrement inférieure à 100K par le cryo-refroidisseur 18 qui est en fonctionnement. La tête froide 19 du cryo-refroidisseur 18 principal extrait de la chaleur à l'échangeur 17 adjacent. L'azote liquide produit tombe par gravité dans le volume 21 situé sous l'échangeur 17 et chemine ensuite vers le bas via la conduite 30 inférieure jusqu'au
10 bain dans le réservoir 9. Ce processus se produit continûment selon une boucle de travail pour le fluide de travail (azote dans cet exemple).

Un réchauffeur, par exemple électrique, (non représenté) peut être monté sur l'échangeur de chaleur 17 de la tête froide 19 du cryo-refroidisseur 18 principal pour réguler sa température.

15 Le cryo-refroidisseur 1 secondaire a de préférence une structure et un fonctionnement identique à celui du cryo-refroidisseur 18 principal.

Le cryo-refroidisseur 1 secondaire est utilisé de préférence en réserve. Lorsque le cryo-refroidisseur 18 principal fonctionne, le cryo-refroidisseur 1 secondaire est à l'arrêt et la température de sa tête froide 7 est proche de la
20 température ambiante. Le fluide de travail contenu dans l'échangeur 2, les conduites 130, 131 est à l'état gazeux.

Le gaz dans les conduites 130, 131 forme, par stratification thermique, des bouchons thermiques gazeux qui limitent les transferts de chaleur entre le cryo-refroidisseur 1 secondaire à l'arrêt et le réservoir 9.

25 En revanche, en cas de défaillance ou d'un arrêt du cryo-refroidisseur 18 principal (par exemple pour une opération de maintenance du cryo-refroidisseur principal 18), le cryo-refroidisseur 1 secondaire peut être mis en marche, par exemple automatiquement.

Après l'arrêt du cryo-refroidisseur 18 principal, sa tête froide 19 et son
30 échangeur 17 sont réchauffés jusqu'à la température ambiante. Ce réchauffement peut être réalisé soit en attendant un réchauffement naturel, soit en utilisant un réchauffeur électrique, soit via une circulation de gaz à température ambiante, soit en faisant remonter la pression dans la première enceinte 16 à la pression atmosphérique.

35 La pression de la première enceinte 16 peut être remontée du vide jusqu'à la pression atmosphérique, par exemple à l'aide d'une vanne (non représentée) permettant une communication sélective entre le volume intérieur de l'enceinte 16 et l'atmosphère extérieure.

La première 16 et la troisième 4 enceintes sont obturées de façon étanche par au moins un capot 15 isolant et sélectivement démontable permettant d'accéder directement au cryo-refroidisseur, notamment à sa tête froide.

Par exemple, les première 16 et la troisième 4 enceintes sont raccordées
5 mécaniquement à la seconde 10 enceinte et sont surélevées par rapport au sol.

Le capot 15 démontable est par exemple placé en partie basse de chaque première 16 et la troisième 4 enceinte, de façon adjacente à la tête froide 19, 7.

Chaque capot 15 est par exemple monté sur le corps de son enceinte 16, 4 via des vis 22 de fixation ou tout autre système approprié.

10 Ainsi, pour accéder au cryo-refroidisseur 18 principal, le capot 15 est démontée. L'opérateur peut ensuite démonter l'échangeur 17, par exemple en retirant des vis 20 de fixation sur la tête froide 19. La bride 12 du cryo-refroidisseur 18 peut ensuite être déconnectée de l'enceinte 16 (par exemple en retirant des vis 13 de fixation). Le cryo-refroidisseur peut alors être retiré pour effectuer son
15 remplacement ou sa maintenance.

Un nouveau cryo-refroidisseur ou le cryo-refroidisseur réparé peut ensuite être remis en place. La bride 12 est fixée à nouveau à l'enceinte 16. Les vis 20 de fixation de l'échangeur 17 sur la tête froide 19 sont remises en place. Le capot 15 est également remonté.

20 Le vide est ensuite à nouveau créé dans la première enceinte 16, par exemple au moyen d'une pompe à vide via une vanne (non représentées).

Le cryo-refroidisseur 18 principal réparé ou changé peut ensuite être mis en marche en cas de dysfonctionnement ou de maintenance du cryo-refroidisseur secondaire 1 qui à présente assure la production de froid.

25 La procédure de remplacement ou de maintenance de l'autre cryo-refroidisseur peut être identique à celle décrite ci-dessus.

Les cryo-refroidisseurs peuvent par exemple fonctionner selon un cycle gifford mac mahon. Les cryo-refroidisseur 1, 18 peuvent être isolé à l'aide d'une super-isolation du type multi-couche ou mono-couche.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif de refroidissement cryogénique comprenant un cryo-refroidisseur (18) principal comportant une tête froide (19) disposée dans une première enceinte (16) sélectivement mise sous vide, un réservoir (9) de fluide de travail disposé dans une seconde enceinte (10) sélectivement mise sous vide, un organe (8) à refroidir étant disposé dans le réservoir (9) en échange thermique avec le fluide de travail, la tête (19) froide du cryo-refroidisseur (18) principal étant reliée thermiquement avec un échangeur de chaleur (17), lui-même relié fluidiquement avec le réservoir (9) via des conduites (30, 31) formant une première boucle de circulation pour le fluide de travail, les conduites (30, 31) transitant de la première (16) à la seconde (10) enceinte, caractérisé en ce que les volumes sélectivement sous vide des première (16) et seconde (10) enceintes sont indépendants c'est-à-dire que les vides des première et seconde enceintes sont indépendants et en ce que le dispositif comporte un cryo-refroidisseur (1) secondaire comprenant une tête froide (7) disposée dans une troisième enceinte (4) sélectivement mise sous vide, la tête (7) froide du cryo-refroidisseur (1) secondaire étant reliée thermiquement avec un échangeur de chaleur, lui-même relié fluidiquement avec le réservoir (9) via des conduites (130, 131) formant une seconde boucle de circulation pour le fluide de travail, et en ce que le volume sélectivement sous vide de la troisième enceinte (4) est indépendant des volumes sélectivement sous vide des première (16) et seconde (10) enceintes c'est-à-dire que les vides des première, seconde et troisième enceintes sont indépendants.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'une au moins parmi les première (16) et troisième (4) enceintes est obturée de façon étanche par au moins un capot (15) sélectivement démontable.

3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que au moins un capot (15) sélectivement démontable est disposé dans la partie inférieure de l'enceinte (16, 4), de façon adjacente à la tête froide (19, 7).

4. Dispositif selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce qu'au moins un capot (15) est monté de façon étanche sur le corps de l'enceinte (16, 4) via des vis (22) de fixation.

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendication 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comporte, autour des conduites (30, 31) transitant de la première (16) à la seconde (10) enceinte, des barrières (40) de vide assurant une séparation des volumes sélectivement sous vide des première (16) et seconde (10) enceintes, les barrières (40) de vide étant disposées dans au

moins une portion (23) tubulaire formant une jonction entre la première (16) et la seconde (10) enceintes.

5 6. Dispositif selon l'une quelconque des revendication 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comporte, autour des conduites (130, 131) transitant de la troisième (4) à la seconde (10) enceinte, des barrières (40) de vide assurant une séparation des volumes sélectivement sous vide des troisième (4) et seconde (10) enceintes, les barrières (40) de vide étant disposées dans au moins une portion (23) tubulaire formant une jonction entre la troisième (4) et la seconde (10) enceintes.

10 7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que la tête froide (19, 7) du ou des cryo-refroidisseur (1, 18) est associée à un échangeur de chaleur (17) formant un condenseur pour le fluide de travail.

15 8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que la tête (19) froide du cryo-refroidisseur (18) principal est reliée au réservoir (9) via deux conduites (30, 31) dont les extrémités amont sont raccordée à un volume (21) hermétique disposé sous la tête froide du cryo-refroidisseur (18) principal, les extrémités aval des conduites (30, 31) étant reliées à une extrémité supérieure du réservoir (9) via une portion
20 verticale ou sensiblement verticale.

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que la tête (7) froide du cryo-refroidisseur (1) secondaire est relié au réservoir (9) via deux conduites (130, 131) dont les extrémités amont sont raccordée à un volume (121) hermétique disposé sous la tête froide (7)
25 du cryo-refroidisseur (1) secondaire et les extrémités aval sont reliées à une extrémité supérieure du réservoir (9) via une portion verticale ou sensiblement verticale.

10. Procédé de refroidissement à basse température d'un organe (8) via un dispositif de refroidissement cryogénique selon l'une quelconque des
30 revendications 1 à 9, caractérisé en ce que le cryo-refroidisseur (18) principal est utilisé pour refroidir l'organe (8), la première enceinte (16) et la seconde (10) enceinte étant mises sous vide et en ce que le cryo-refroidisseur (1) secondaire est sélectivement mis à l'arrêt ou en fonctionnement pendant que le cryo-refroidisseur (18) principal est en fonctionnement.

35 11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que le cryo-refroidisseur (18) principal est mis à l'arrêt et en ce que, simultanément ou de façon anticipée, le cryo-refroidisseur (1) secondaire est démarré pour assurer

le refroidissement de l'organe (8), la troisième enceinte (4) étant mise sous vide ou maintenue sous vide.

12. Procédé selon la revendication 10 ou 11, caractérisé en ce que, lors de la mise à l'arrêt d'un cryo-refroidisseur (18, 1), la tête froide (19, 7) du cryo-refroidisseur (18, 1) mis à l'arrêt est réchauffée jusqu'à une température ambiante via l'une au moins des étapes suivantes :

- par réchauffement naturel spontané,
- par un réchauffement actif commandé,
- par circulation forcée de gaz à température ambiante dans l'enceinte du cryo-refroidisseur (18, 1) ou autour des échangeurs (17) via un tube bobiné ou tout autre dispositif.
- par mise à la pression atmosphérique le volume de l'enceinte cryo-refroidisseur (18, 1).

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 10 à 12, caractérisé en ce qu'il comporte une étape de réparation ou de maintenance de l'un des deux cryo-refroidisseurs (18, 1) tandis que l'autre cryo-refroidisseur (1, 18) est en fonctionnement et assure le refroidissement de l'organe (8), le procédé comprenant :

- un arrêt ou un maintien de l'arrêt du fonctionnement du cryo-refroidisseur (18, 1) destiné à subir une réparation ou de maintenance,
- un maintien à une température ambiante ou une mise à une température ambiante du cryo-refroidisseur (18, 1) destiné à subir une réparation ou de maintenance,
- une ouverture de l'enceinte (16, 4) contenant du cryo-refroidisseur (18, 1) destiné à subir une réparation ou de maintenance,
- le démontage du cryo-refroidisseur (18, 1) destiné à subir une réparation ou de maintenance en vue de son remplacement ou de sa réparation sans relié à l'atmosphère le volume (21, 121) hermétique,
- un maintien du vide au sein de l'enceinte de l'autre cryo-refroidisseurs (1, 18) en fonctionnement ainsi que dans la seconde (10) enceinte.

1/1

