



(11) **EP 2 307 823 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
15.05.2013 Bulletin 2013/20

(51) Int Cl.:
F25B 9/12 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **09740356.2**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2009/051468

(22) Date de dépôt: **22.07.2009**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2010/012939 (04.02.2010 Gazette 2010/05)

(54) **RÉFRIGÉRATEUR ET PROCÉDÉ DE PRODUCTION DE FROID À TRÈS BASSE TEMPÉRATURE**

KÄLTEVORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR ERZEUGUNG VON KÄLTE MIT SEHR NIEDRIGEN
TEMPERATUREN

REFRIGERATOR, AND METHOD FOR PRODUCING VERY LOW TEMPERATURE COLD

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

- **TRIQUENEAUX, Sébastien**
F-38000 Grenoble (FR)
- **VERMEULEN, Gérard**
F-38000 Grenoble (FR)

(30) Priorité: **31.07.2008 FR 0855275**

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

(43) Date de publication de la demande:
13.04.2011 Bulletin 2011/15

(73) Titulaires:

- **L'Air Liquide Société Anonyme pour l'Etude et
l'Exploitation des Procédés Georges Claude**
75007 Paris (FR)
- **Centre National de la Recherche Scientifique**
75016 Paris (FR)
- **Centre National d'Etudes Spatiales**
75001 Paris (FR)

(56) Documents cités:

EP-A- 0 327 457 GB-A- 2 045 411
US-A- 5 657 635

(72) Inventeurs:

- **BENOIT, Alain**
F-38320 Eybens (FR)
- **CAMUS, Philippe**
F-38240 Meylan (FR)
- **MARTIN, Florian**
7512GX Enschede (NL)

- **BENOIT A ET AL: "Dilution refrigerator for space
applications with a cryocooler" CRYOGENICS,
ELSEVIER, KIDLINGTON, GB, vol. 34, no. 5, 1 mai
1994 (1994-05-01), pages 421-423, XP024057565
ISSN: 0011-2275 [extrait le 1994-05-01]**
- **SEVERIJNS ET AL: "A novel He<3>@?He<4>
dilution refrigerator with superfluid He<4>
circulation" CRYOGENICS, ELSEVIER,
KIDLINGTON, GB, vol. 20, no. 3, 1 mars 1980
(1980-03-01), pages 115-121, XP024050437 ISSN:
0011-2275 [extrait le 1980-03-01]**

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

EP 2 307 823 B1

Description

[0001] La présente invention concerne un réfrigérateur à dilution et un procédé de production de froid à très basse température.

[0002] L'invention concerne plus particulièrement un réfrigérateur à dilution pour l'obtention de très basses températures comprenant une chambre de mélange, un premier conduit d'alimentation ayant une extrémité amont reliée à une source d'hélium d'isotope 3 (^3He) et une extrémité aval reliée à la chambre de mélange, un second conduit d'alimentation ayant une extrémité amont reliée à une source d'hélium d'isotope 4 (^4He) et une extrémité aval reliée à la chambre de mélange, un conduit d'évacuation du mélange de ^3He - ^4He produit dans la chambre de mélange à partir du ^3He et du ^4He fournis respectivement par les premier et second conduits, le conduit d'évacuation comprenant une extrémité amont reliée à la chambre de mélange et une extrémité aval reliée à un volume de récupération de la fraction du mélange évacué, les extrémités aval des premier et second conduits et l'extrémité amont du conduit d'évacuation communiquant fluidiquement à une jonction commune de façon à former la chambre de mélange, la séparation de phase entre les mélanges d'hélium ^3He - ^4He étant contrôlée par les flux de ^3He et ^4He dans les conduits et les forces capillaires dans les conduits indépendamment de la gravité.

[0003] Parmi les méthodes d'obtention de très basses températures, une des plus intéressantes fait appel à la dilution de l'isotope ^3He dans l'hélium ordinaire ^4He .

[0004] Au dessous de 0,88K environ le mélange ^3He - ^4He peut présenter deux phases, une phase riche en ^3He dite concentrée et une phase riche en ^4He dite diluée. Quand la température décroît de 0,88K à 0K, la concentration en ^3He de la phase concentrée croît de 67% à 100% environ tandis que la concentration en ^3He de la phase diluée décroît de 67% à 6,6% environ.

[0005] Un refroidisseur à dilution traditionnel comprend classiquement une boîte ou chambre de mélange remplie de deux phases d'hélium liquide : une phase diluée et une phase concentrée dans les conditions thermodynamiques décrites ci-dessus. Le principe de production de froid est essentiellement le suivant : on crée dans la boîte de mélange thermodynamiquement isolée un mélange ^4He - ^3He en quantités telles qu'il y ait les deux phases décrites ci-dessus (une phase diluée et une phase concentrée). En extrayant du ^3He de la phase diluée, du ^3He issu de la phase concentrée va se dissoudre dans la phase diluée pour maintenir la concentration d'équilibre. Ce processus de dilution conduit à la production de froid.

[0006] Pour qu'un tel dispositif, ou cryostat, fonctionne en continu, il suffit d'introduire dans la boîte de mélange du ^3He liquide, éventuellement mélangé d'un peu de ^4He , pour compenser les prélèvements.

[0007] Pour permettre le fonctionnement de ces sys-

tèmes il est nécessaire de localiser :

- la phase concentrée (liquide avec ^3He majoritaire),
- la phase de dilution (liquide avec ^4He majoritaire) et également
- la phase vapeur concentrée (^3He majoritaire).

[0008] Cette localisation des différentes phases est réalisée classiquement par gravité (les phases se séparent du fait de leurs densités différentes). En revanche, lorsque le système est en apesanteur ou dans certaines orientations cette localisation n'est pas possible. Le document EP-A-0327457 décrit un réfrigérateur selon le préambule de la revendication 1.

[0009] Le document FR2626658 décrit un système de refroidisseur à dilution indépendant de la gravité ou de l'orientation.

[0010] Selon ce système, on utilise trois conduits encore appelés capillaires. Les trois capillaires sont connectés ensemble à une extrémité pour former une jonction (chambre de mélange). Deux capillaires sont utilisés respectivement pour injecter du ^3He pur et du ^4He afin de produire un mélange ^3He - ^4He saturé (mélange de phase concentrée et de phase diluée). Le mélange d'hélium est extrait par le troisième capillaire et est récupéré ou rejeté dans l'espace qui agit comme une pompe "gratuite". La séparation de phase entre les mélanges d'hélium liquides est contrôlée uniquement par le flux de ^3He et ^4He et les forces capillaires, et non plus par la gravité.

[0011] Pour s'affranchir des contraintes de gravité, le réfrigérateur ne comporte pas de distillateur. Une unité de distillation annexe peut être prévue pour séparer, au cours d'une opération dédiée, les deux constituants du mélange ^3He - ^4He éventuellement récupéré (par exemple au moyen de réserves de stockage).

[0012] La durée de vie de ce système est cependant limitée par les quantités d'isotopes d'hélium prévus pour alimenter la boîte de mélange. De plus, en cas d'utilisation dans des engins spatiaux, le mélange d'hélium extrait est perdu.

[0013] Un but de la présente invention est de pallier tout ou partie des inconvénients de l'art antérieur relevés ci-dessus.

[0014] A cette fin, le réfrigérateur selon l'invention, par ailleurs conforme à la définition générique qu'en donne le préambule ci-dessus, est essentiellement caractérisé en ce qu'il comporte un bouilleur constituant le volume de récupération du mélange, le bouilleur assurant le maintien du mélange des ^3He et ^4He à l'équilibre liquide-vapeur le bouilleur formant à la fois la source de ^3He et la source de ^4He , le premier conduit d'alimentation comprenant un organe de pompage sélectif du ^3He dans le bouilleur pour alimenter la chambre de mélange en ^3He en continu et selon une première boucle fermée, le second conduit d'alimentation comprenant un organe de pompage sélectif du ^4He dans le bouilleur pour alimenter la chambre de mélange en ^4He en continu et selon une seconde boucle fermée distincte.

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

- le bouilleur comprend un organe de confinement de la phase liquide par rapport à la phase gazeuse,
- l'organe de pompage sélectif du ^4He comprend une superfuite en liaison fluide avec la phase liquide confinée par l'organe de confinement et un organe de pompage dont l'aspiration est reliée à la phase liquide via la superfuite,
- les premier et second conduits et le conduit d'évacuation sont assemblés pour échanger thermiquement entre le bouilleur et la chambre de mélange,
- l'organe de pompage du premier conduit d'alimentation est une pompe pour pomper du ^3He gazeux, telle qu'une pompe mécanique et/ou une ou plusieurs pompes dites à absorption,
- l'extrémité amont du premier conduit d'alimentation et/ou l'organe de pompage du premier conduit d'alimentation débouche dans une zone du bouilleur collectant majoritairement du ^3He à partir du mélange ^3He - ^4He à l'équilibre liquide-vapeur,
- l'organe de pompage du second conduit d'alimentation est une pompe pour pomper du ^4He liquide, telle qu'une pompe mécanique et/ou une

[0016] pompe dite fontaine (pompe thermo-mécanique) ou une pompe mécanique pour du ^4He ,

- l'extrémité amont du second conduit d'alimentation et/ou l'organe de pompage du second conduit d'alimentation débouche dans une zone du bouilleur collectant majoritairement du ^4He à partir du mélange ^3He - ^4He à l'équilibre liquide-vapeur,
- l'organe de pompage du second conduit d'alimentation ou l'extrémité amont du second conduit d'alimentation débouche dans une zone du bouilleur via un élément de filtration sélectif de ^4He

[0017] L'invention concerne également un procédé de production de froid à très basse température, notamment inférieur à 2K et plus préférentiellement inférieur à 1 K par un cycle de dilution dans lequel on crée un mélange diphasique des deux isotopes ^3He et ^4He dans une chambre de mélange à partir de ^3He et de ^4He liquides introduits séparément via des conduits d'alimentation respectifs, dans lequel on extrait dudit mélange, via un conduit d'évacuation, du ^3He d'une phase dite concentrée pour faire passer du ^3He dans une phase dite diluée, et grâce auquel on récupère les frigorifiques générées par le passage du ^3He en phase diluée, la séparation des phases du mélange diphasique étant réalisée par le contrôle des flux de ^3He et ^4He purs introduits séparément dans la chambre de mélange et des forces capillaires dans les conduits indépendamment de la gravité.

[0018] Selon une particularité avantageuse le cycle de dilution fonctionne en boucle fermée, le procédé com-

prenant

- une première étape de récupération et de séparation des deux isotopes ^3He et ^4He de la fraction du mélange extrait par un conduit d'évacuation,
- une seconde étape de ré-introduction dans la chambre de mélange des deux isotopes ^3He et ^4He séparés lors de la première étape.

[0019] Selon d'autres particularités possibles :

- la première étape de récupération et de séparation des deux isotopes est réalisée dans un bouilleur conformé pour maintenir le mélange ^3He - ^4He à l'équilibre liquide-vapeur,
- la seconde étape de ré-introduction dans la chambre de mélange des deux isotopes ^3He et ^4He est réalisée via des organes de pompage respectifs,
- le mélange des deux isotopes ^3He et ^4He est maintenu dans la chambre de mélange à une température comprise entre 10mK et 300mK et par exemple 50mK et 300mK,
- la pression de pompage de l'organe de pompage du premier conduit est comprise entre 0,1 et 50mb, et de préférence égale à environ 5mbar,
- le procédé comporte, entre la première étape de récupération et de séparation et la seconde étape de ré-introduction, une étape de refroidissement respectif de l'un ou de chacun des isotopes séparés entre 1 et 2K et de préférence entre 1,4 et 1,5K
- la température dans le bouilleur et la concentration de ^3He dans le bouilleur sont maintenues telles que la pression de vapeur de ^3He soit beaucoup plus haute que de celle du ^4He ,
- la pression de refoulement de la pompe du premier conduit est comprise entre 50 et 1500mbar et de préférence de l'ordre de 200mb pour une liquéfaction du ^3He à une température (refroidissement en sortie de pompe) de 1,4-1,5K,
- le procédé utilise un réfrigérateur à dilution comprenant une chambre de mélange, un premier conduit d'alimentation ayant une extrémité amont reliée à une source d'hélium d'isotope 3 (^3He) et une extrémité aval reliée à la chambre de mélange, un second conduit d'alimentation ayant une extrémité amont reliée à une source d'hélium d'isotope 4 (^4He) et une extrémité aval reliée à la chambre de mélange, un conduit d'évacuation d'une fraction du mélange de ^3He - ^4He produit dans la chambre de mélange à partir des ^3He et ^4He fournis respectivement par les premier et second conduits, le conduit d'évacuation comprenant une extrémité amont reliée à la chambre de mélange et une extrémité aval reliée à un volume de récupération de la fraction du mélange évacué, les extrémités aval des premier et second conduits et l'extrémité amont du conduit d'évacuation communiquant fluidiquement à une jonction commune de façon à former la chambre de mélange, la sépa-

ration de phase entre les mélanges d'hélium étant contrôlée par les flux de ^3He et ^4He et les forces capillaires dans les conduits au lieu de la gravité, le réfrigérateur comportant en outre un bouilleur constituant le volume de récupération du mélange, le bouilleur assurant le maintien du mélange des ^3He et ^4He à l'équilibre liquide-vapeur, le bouilleur formant à la fois la source de ^3He et la source de ^4He , le premier conduit d'alimentation comprenant un organe de pompage sélectif du ^3He dans le bouilleur alimentant la chambre de mélange en

[0020] ^3He en continu et selon une première boucle fermée, le second conduit d'alimentation comprenant un organe de pompage sélectif du ^4He dans le bouilleur alimentant la chambre de mélange en ^4He en continu et selon une seconde boucle fermée,

- la pression dans la pompe du second conduit (pompe à pression fontaine) peut être de plusieurs centaines de mbar afin d'avoir un écoulement turbulent dans les capillaires monophasiques et dans le capillaire entre ladite pompe à pression fontaine et le bouilleur,
- dans le cas où la pompe 7 du second conduit 4 est une pompe mécanique, la pression de pompage peut être négative,

[0021] L'invention peut concerner également tout dispositif ou procédé alternatif comprenant toute combinaison des caractéristiques ci-dessus ou ci-dessous.

[0022] D'autres particularités et avantages apparaîtront à la lecture de la description ci-après, faite en référence à la figure qui représente de façon schématique et partielle la structure et le fonctionnement d'un réfrigérateur selon un exemple de réalisation possible de l'invention.

[0023] Le refroidisseur 1 à dilution comprend une chambre de mélange 2 formée au niveau des extrémités ouvertes (jonction commune) d'un premier conduit 3 d'alimentation en ^3He , d'un second conduit 4 d'alimentation en ^4He et d'un conduit d'évacuation 8 du mélange ^3He - ^4He .

[0024] Le conduit d'évacuation 8 comprend, d'amont en aval, deux portions : une première portion (zone référence 13) dans laquelle circulent les deux phases (concentrée et diluée) et une seconde portion (zone référence 12) dans laquelle circule le mélange monophasique ^3He - ^4He après dilution complète de la phase concentrée dans la phase diluée. Ce conduit d'évacuation 8 sert donc à l'évacuation du mélange de ^3He - ^4He diphasique produit dans la chambre de mélange 2 à partir du ^3He et du ^4He fournis respectivement par les premier 3 et second 4 conduits.

[0025] La séparation de phase entre les mélanges d'hélium ^3He - ^4He est contrôlée par les flux de ^3He et ^4He dans les conduits 3, 4, 8 et les forces capillaires dans les conduits 3, 4, 8. C'est-à-dire que la séparation de phase

n'est pas dépendante de la gravité ni de l'orientation (selon le même principe général que dans le document FR2626658).

[0026] Le réfrigérateur 1 comprend un évaporateur bouilleur 5 dans lequel on trouve du mélange ^3He - ^4He liquide dilué en équilibre avec la phase vapeur riche en ^3He .

[0027] Le bouilleur 5 (« still » en anglais) est par exemple un sous ensemble en cuivre et/ou inox muni des entrées et sorties de fluide requises et constituant un volume étanche de quelques centimètres cubes par exemple. Le volume du bouilleur 5 est dimensionné de façon que l'interface liquide-gaz s'établisse à l'intérieur dudit volume, en fonction des quantités de He en circulation dans le système.

[0028] L'extrémité amont du premier 3 conduit est reliée au bouilleur 5 via une pompe 6 et l'extrémité aval du premier 3 conduit est reliée à la chambre 2 de mélange.

[0029] Le second conduit 4 d'alimentation a une extrémité amont reliée au bouilleur 5 via une pompe 7 et une extrémité aval reliée à la chambre de mélange 2.

[0030] Le conduit d'évacuation 8 est relié à la chambre de mélange 2 par son extrémité amont et est relié au bouilleur 5 par son extrémité aval.

[0031] L'appareil 1 forme donc deux boucles fermées entre le bouilleur 5 et la chambre 2 de mélange. L'appareil 1 est rempli d'un mélange ^3He et ^4He saturé de sorte qu'il y a une interface vapeur-liquide dans le bouilleur 5 et une interface concentré - dilué dans la chambre de mélange 2.

[0032] Le premier 3 conduit d'alimentation alimente la chambre 2 de mélange en ^3He à partir du bouilleur 5 via un organe 6 de pompage tel qu'une pompe.

[0033] Le second 4 conduit d'alimentation alimente la chambre 2 de mélange en ^4He à partir du bouilleur 5 via un organe 7 de pompage tel qu'une pompe.

[0034] La pompe 6 du premier conduit 3 pompe majoritairement du ^3He (gazeux) car la température dans le bouilleur 5 et la concentration de ^3He dans le bouilleur 5 sont maintenues telles que la pression de vapeur de ^3He soit beaucoup plus haute que de celle du ^4He .

[0035] Cette pompe 6 peut être une pompe mécanique ou tout autre système de pompage équivalent approprié placé à température ambiante ou à température cryogénique (par exemple pompe à adsorption). Après son pompage dans le bouilleur 5 le ^3He est refroidi avant son introduction dans la chambre 2 de mélange. Par exemple, un refroidisseur 10 assure une liquéfaction du ^3He pompé sous forme gazeuse dans le bouilleur 5. Ce refroidisseur 10 peut être par exemple composé d'un système à détente Joule-Thomson fonctionnant avec du He (^3He ou ^4He) ou tout refroidisseur permettant de fournir une température idéalement de l'ordre de 1,4 à 1,5 K. Après ce premier refroidissement 10, le ^3He est refroidi par le bouilleur 5 (échange thermique avec le premier conduit 3). Ensuite, le ^3He peut être refroidi via un échange thermique entre le premier conduit 3 et le conduit d'évacuation 8 (ce conduit d'évacuation 8 étant éventuel-

lement également en échange thermique avec le second conduit 4). Il y a ainsi une zone 12 d'échange de chaleur du ^3He liquide injecté avec le mélange $^3\text{He} - ^4\text{He}$ monophasique puis une zone 13 d'échange de chaleur du ^3He liquide injecté avec le mélange $^3\text{He} - ^4\text{He}$ diphasique.

[0036] L'hélium isotope 3 (^3He) injecté sous forme liquide dans la boîte 2 de mélange a typiquement une température comprise entre 10mK et 300mK.

[0037] La pompe 7 du second conduit 4 pompe exclusivement du ^4He liquide. La pompe 7 ^4He liquide peut être connectée au bouilleur 5 au moyen par exemple d'un système 9 appelé superfuite qui agit comme une membrane semi-perméable permettant seulement au superfluide ^4He d'être pompé. Cette superfuite 9 a une extrémité 19 immergée dans la phase liquide du bouilleur 5 et une extrémité 29 non immergée et préférentiellement thermiquement isolée du bouilleur 5. En outre, un dispositif frontière 14 peut être utilisé pour permettre de confiner le mélange $^3\text{He} - ^4\text{He}$ liquide au contact de l'extrémité 19 immergée de la superfuite. Ce dispositif 14 frontière peut fonctionner par capillarité, par exemple il peut être constitué d'un milieu poreux avec une distribution des tailles de pores adaptée à l'application recherchée. D'autres systèmes, par exemple par champ électrique, peuvent être envisagés pour obtenir ce confinement entre la phase liquide et la phase gazeuse.

[0038] La pompe 7 peut être une pompe à effet fontaine (pompe thermo-mécanique) ou une pompe ^4He mécanique ou tout autre organe équivalent approprié disposé le cas échéant en aval de la superfuite 9 à température ambiante ou cryogénique (par exemple pompe à adsorption ou turbine froide).

[0039] Le superfluide ^4He pompé dans le bouilleur 5 peut être refroidi par une source froide extérieure 11 qui remplit la même fonction que le refroidisseur 10 du premier conduit 3 (refroidissement à une température idéalement de l'ordre de 1,4 à 1,5 K). Les deux refroidisseurs 10 et 11 peuvent d'ailleurs ne constituer qu'un seul et même élément refroidisseur. On notera qu'il est thermodynamiquement envisageable de se passer d'une source froide (refroidisseur 10 et/ou refroidisseur 11 facultatif(s)), notamment si la dissipation thermique de la pompe 7 du second conduit 4 est suffisamment faible.

[0040] Après ce premier refroidissement 11, le ^4He peut être refroidi par le bouilleur 5 (échange thermique avec le second conduit 4). Ensuite, le ^4He est refroidi via un échange thermique entre le second conduit 4 et le conduit d'évacuation 8 (ce conduit d'évacuation 8 étant éventuellement également en échange thermique avec le premier conduit 3). Il y a ainsi une zone 12 d'échange de chaleur du ^3He liquide injecté avec le mélange $^3\text{He} - ^4\text{He}$ monophasique puis une zone 13 d'échange de chaleur du ^3He liquide injecté avec le mélange $^3\text{He} - ^4\text{He}$ diphasique.

[0041] L'hélium isotope 4 (^4He) injecté sous forme liquide dans la chambre 2 de mélange a typiquement une température comprise entre 10mK et 300mK.

[0042] Les températures de fonctionnement dans la

chambre 2 de mélange sont généralement comprises dans la gamme de 10mK à 300mK.

[0043] Pour que la pompe à pression fontaine 7 du second conduit 4 puisse fonctionner efficacement, la concentration de ^3He dans la phase liquide du bouilleur 5 est de préférence de l'ordre de 10%, la température dans le bouilleur 5 est de préférence d'environ 1,05K. En conséquence, la pression de vapeur dans le bouilleur 5 est de l'ordre de 5mb et la concentration en ^3He dans la vapeur proche de 95%.

[0044] La pression de pompage de la pompe 6 du premier conduit 3 est donc typiquement de l'ordre de 5 mb et la pression de refoulement est par exemple supérieure ou de l'ordre de 200mb, ce qui permet de liquéfier le ^3He à la température de 1,4-1,5K.

[0045] La température des fluides après pompage et premier refroidissement 10, 11 est par exemple comprise entre 1 et 2K.

[0046] Le réfrigérateur 1 à dilution selon l'invention utilise donc un système 14 de confinement permettant de localiser les phases liquide et vapeur dans le bouilleur 5.

[0047] Le réfrigérateur 1 selon l'invention permet ainsi de maintenir en continu deux flux distincts d'isotopes de l'hélium (^4He et ^3He) selon deux boucles fermées, sans nécessiter d'apport d'hélium extérieur.

[0048] Le réfrigérateur 1 ou cryostat obtenu permet de produire et conserver avec une autonomie illimitée une température stable de l'ordre par exemple de 0,05K dans la chambre 2 de mélange.

[0049] Le système décrit ci-dessus peut être monté sur un support orientable dans toutes les directions en vue notamment d'applications hors gravité ou soumises à un champ de gravité.

Revendications

1. Réfrigérateur à dilution pour l'obtention de très basses températures comprenant une chambre de mélange (2), un premier conduit (3) d'alimentation ayant une extrémité amont reliée à une source d'hélium d'isotope 3 (^3He) et une extrémité aval reliée à la chambre de mélange (2), un second conduit (4) d'alimentation ayant une extrémité amont reliée à une source d'hélium d'isotope 4 (^4He) et une extrémité aval reliée à la chambre de mélange (2), un conduit d'évacuation (8) du mélange de $^3\text{He}-^4\text{He}$ produit dans la chambre de mélange (2) à partir du ^3He et du ^4He fournis respectivement par les premier (3) et second (4) conduits, le conduit d'évacuation (4) comprenant une extrémité amont reliée à la chambre de mélange (2) et une extrémité aval reliée à un volume (5) de récupération de la fraction du mélange évacué, les extrémités aval des premier (3) et second (4) conduits et l'extrémité amont du conduit d'évacuation (8) communiquant fluidiquement à une jonction commune de façon à former la chambre de mélange (2), la séparation de phase entre les mélanges

- d'hélium ^3He - ^4He étant contrôlée par les flux de ^3He et ^4He dans les conduits (3, 4, 8) et les forces capillaires dans les conduits indépendamment de la gravité, **caractérisé en ce qu'il** comporte un bouilleur (5) constituant le volume de récupération du mélange, le bouilleur (5) assurant le maintien du mélange (2) des ^3He et ^4He à l'équilibre liquide-vapeur, le bouilleur (5) formant à la fois la source de ^3He et la source de ^4He , le premier conduit (3) d'alimentation comprenant un organe (6) de pompage sélectif du ^3He dans le bouilleur (5) pour alimenter la chambre de mélange (2) en ^3He en continu et selon une première boucle fermée, le second conduit (4) d'alimentation comprenant un organe (7, 9) de pompage sélectif du ^4He dans le bouilleur (5) pour alimenter la chambre de mélange (2) en ^4He en continu et selon une seconde boucle fermée distincte.
2. Réfrigérateur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le bouilleur (5) comprend un organe (14) de confinement de la phase liquide par rapport à la phase gazeuse.
 3. Réfrigérateur selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** l'organe (7, 9) de pompage sélectif du ^4He comprend une superfuite (9) en liaison fluïdique (19) avec la phase liquide confinée par l'organe (14) de confinement et un organe de pompage (7) dont l'aspiration est reliée à la phase liquide via (29) la superfuite (9).
 4. Réfrigérateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** les premier (3) et second (4) conduits et le conduit d'évacuation (8) sont assemblés pour échanger thermiquement entre le bouilleur (5) et la boîte de mélange (2).
 5. Réfrigérateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** l'organe (6) de pompage du premier conduit (3) d'alimentation est une pompe pour pomper du ^3He gazeux, telle qu'une pompe mécanique et/ou une ou plusieurs pompes dites à absorption.
 6. Réfrigérateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** l'extrémité amont du premier conduit (3) d'alimentation et/ou l'organe (6) de pompage du premier conduit (3) d'alimentation débouche dans une zone du bouilleur (5) collectant majoritairement du ^3He à partir du mélange ^3He - ^4He à l'équilibre liquide-vapeur.
 7. Réfrigérateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** l'organe (7) de pompage du second conduit (4) d'alimentation est une pompe (P) pour pomper du ^4He liquide, telle qu'une pompe mécanique et/ou une pompe dite fontaine (pompe thermo-mécanique) ou une pompe mécanique pour de l'hélium superfluïde.
 8. Réfrigérateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** l'extrémité amont du second conduit (4) d'alimentation et/ou l'organe (7) de pompage du second conduit (4) d'alimentation débouche dans une zone du bouilleur (5) collectant majoritairement du ^4He à partir du mélange ^3He - ^4He à l'équilibre liquide-vapeur.
 9. Réfrigérateur selon l'une quelconque des revendications 7 ou 8, **caractérisé en ce que** l'organe (7) de pompage du second conduit (4) d'alimentation ou l'extrémité amont du second conduit (4) d'alimentation débouche dans une zone du bouilleur (5) via un élément (9) de filtration sélectif de ^4He .
 10. Procédé de production de froid à très basse température, notamment inférieur à 2K et plus préférentiellement inférieur à 1 K par un cycle de dilution dans lequel on crée un mélange diphasique des deux isotopes ^3He et ^4He dans une chambre (2) de mélange à partir de ^3He et de ^4He liquides introduits séparément via des conduits d'alimentation (3, 4) respectifs, dans lequel on extrait dudit mélange, via un conduit d'évacuation (8), du ^3He d'une phase dite concentrée pour faire passer du ^3He dans une phase dite diluée, et grâce auquel on récupère les frigories générées par le passage du ^3He en phase diluée ; la séparation des phases du mélange diphasique étant réalisée par le contrôle des flux de ^3He et ^4He purs introduits séparément dans la chambre (2) de mélange et des forces capillaires dans les conduits (3, 4) indépendamment de la gravité, **caractérisé en ce que** le cycle de dilution fonctionne en boucle fermée, le procédé comprenant :
 - une première étape de récupération et de séparation des deux isotopes ^3He et ^4He de la fraction du mélange extrait par un conduit d'évacuation (8),
 - une seconde étape de ré-introduction dans la chambre (2) de mélange des deux isotopes ^3He et ^4He séparés lors de la première étape.
 11. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** la première étape de récupération et de séparation des deux isotopes est réalisée dans un bouilleur (5) conformé pour maintenir le mélange (2) ^3He - ^4He à l'équilibre liquide-vapeur.
 12. Procédé selon la revendication 10 ou 11, **caractérisé en ce que** la seconde étape de ré-introduction dans la chambre (2) de mélange des deux isotopes ^3He et ^4He est réalisée via des organes de pompage (6, 7) respectifs.
 13. Procédé selon l'une quelconque des revendications

10 à 12, **caractérisé en ce que** le mélange des deux isotopes ^3He et ^4He est maintenu dans la chambre (2) de mélange à une température comprise entre 10mK et 300mK.

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 10 à 13, **caractérisé en ce qu'il** comporte, entre la première étape de récupération et de séparation et la seconde étape de ré-introduction, une étape de refroidissement respectif (10, 11) de l'un ou de chacun des isotopes séparés entre 1 et 2K et de préférence entre 1,4 et 1,5K.

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 10 à 14, **caractérisé en ce qu'il** utilise un réfrigérateur à dilution comprenant une chambre de mélange (2), un premier conduit (3) d'alimentation ayant une extrémité amont reliée à une source d'hélium d'isotope 3 (^3He) et une extrémité aval reliée à la chambre de mélange (2), un second conduit (4) d'alimentation ayant une extrémité amont reliée à une source d'hélium d'isotope 4 (^4He) et une extrémité aval reliée à la chambre de mélange (2), un conduit d'évacuation (8) d'une fraction du mélange de ^3He - ^4He produit dans la chambre de mélange (2) à partir des ^3He et ^4He fournis respectivement par les premier (3) et second (4) conduits, le conduit d'évacuation (4) comprenant une extrémité amont reliée à la chambre de mélange (2) et une extrémité aval reliée à un volume (5) de récupération de la fraction du mélange évacué, les extrémités aval des premier (3) et second (4) conduits et l'extrémité amont du conduit d'évacuation (8) communiquant fluidiquement à une jonction commune de façon à former la chambre de mélange (2), la séparation de phase entre les mélanges d'hélium étant contrôlée par les flux de ^3He et ^4He et les forces capillaires dans les conduits au lieu de la gravité, le réfrigérateur (1) comportant en outre un bouilleur (5) constituant le volume de récupération du mélange, le bouilleur (5) assurant le maintien du mélange (2) des ^3He et ^4He à l'équilibre liquide-vapeur, le bouilleur (5) formant à la fois la source de ^3He et la source de ^4He , le premier conduit (3) d'alimentation comprenant un organe (6) de pompage sélectif du ^3He dans le bouilleur (5) alimentant la boîte de mélange (2) en ^3He en continu et selon une première boucle fermée, le second conduit (4) d'alimentation comprenant un organe (7) de pompage sélectif du ^4He dans le bouilleur (5) alimentant la boîte de mélange (2) en ^4He en continu et selon une seconde boucle fermée.

Patentansprüche

1. Mischungskühler zum Erzeugen von sehr niedrigen Temperaturen, umfassend eine Mischkammer (2), eine erste Leitung (3) zum Zuleiten mit einem strom-

aufwärtigen Ende, das mit einer Heliumquelle des Isotops 3 (^3He) verbunden ist, und einem stromabwärtigen Ende, das mit der Mischkammer (2) verbunden ist, eine zweite Leitung (4) zum Zuleiten mit einem stromaufwärtigen Ende, das mit einer Heliumquelle des Isotops 4 (^4He) verbunden ist, und einem stromabwärtigen Ende, das mit der Mischkammer (2) verbunden ist, eine Leitung zum Ableiten (8) des ^3He - ^4He -Gemischs, das in der Mischkammer (2) aus ^3He und ^4He , die von der ersten (3) bzw. von der zweiten Leitung (4) bereitgestellt werden, erzeugt wird, wobei die Ableitung (4) ein stromaufwärtiges Ende, das mit der Mischkammer (2) verbunden ist, und ein stromabwärtiges Ende, das mit einem Volumen (5) zur Rückgewinnung der Fraktion des abgeleiteten Gemischs verbunden ist, umfasst, wobei die stromabwärtigen Enden der ersten (3) und der zweiten (4) Leitung und das stromaufwärtige Ende der Ableitung (8) mit einer gemeinsamen Verbindung fluidisch kommunizieren, derart, dass sie die Mischkammer (2) bilden, wobei die Phasentrennung zwischen den ^3He - ^4He -Heliumgemischen durch die ^3He - und ^4He -Ströme in den Leitungen (3, 4, 8) und die Kapillarkräfte in den Leitungen unabhängig von der Schwerkraft gesteuert wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** er einen Erhitzer (5) aufweist, der das Volumen zur Rückgewinnung des Gemischs bildet, wobei der Erhitzer (5) bewirkt, dass das ^3He - und ^4He -Gemisch (2) in einem Dampf-Flüssigkeit-Gleichgewicht gehalten wird, wobei der Erhitzer (5) die ^3He -Quelle und die ^4He -Quelle gleichzeitig bildet, wobei die erste Zuleitung (3) ein Organ (6) zum selektiven Pumpen von ^3He in den Erhitzer (5) umfasst, um die Mischkammer (2) kontinuierlich und in einer ersten geschlossenen Schleife mit ^3He zu versorgen, wobei die zweite Zuleitung (4) ein Organ (7, 9) zum selektiven Pumpen von ^4He in den Erhitzer (5) umfasst, um die Mischkammer (2) kontinuierlich und in einer zweiten unterschiedlichen geschlossenen Schleife mit ^4He zu versorgen.

2. Kühler nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Erhitzer (5) ein Organ (14) zum Begrenzen der flüssigen Phase gegenüber der gasförmigen Phase umfasst.

3. Kühler nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Organ (7, 9) zum selektiven Pumpen von ^4He ein Supraleck (9) in fluidischer Verbindung (19) mit der flüssigen Phase, die durch das Begrenzungsorgan (14) begrenzt ist, und ein Pumporgan (7) umfasst, dessen Einsaugöffnung mit der flüssigen Phase über (29) das Supraleck (9) verbunden ist.

4. Kühler nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste (3) und die zweite Leitung (4) und die Ableitung (8) für den Wärme-

tausch zwischen dem Erhitzer (5) und dem Mischgehäuse (2) verbunden sind.

5. Kühler nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Pumporgan (6) der ersten Zuleitung (3) eine Pumpe ist, um gasförmiges ^3He zu pumpen, wie eine mechanische Pumpe und/oder eine oder mehrere so genannte Absorptionspumpen. 5
6. Kühler nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das stromaufwärtige Ende der ersten Zuleitung (3) und/oder das Pumporgan (6) der ersten Zuleitung (3) in einer Zone des Erhitzers (5) ausmündet, die mehrheitlich ^3He aus dem ^3He - ^4He -Gemisch im Dampf-Flüssigkeit-Gleichgewicht auffängt. 10
7. Kühler nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Pumporgan (7) der zweiten Zuleitung (4) eine Pumpe (P) ist, um gasförmiges ^4He zu pumpen, wie eine mechanische Pumpe und/oder eine so genannte Brunnenpumpe (thermo-mechanische Pumpe) oder eine mechanische Pumpe für suprafluides Helium. 15
8. Kühler nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das stromaufwärtige Ende der zweiten Zuleitung (4) und/oder das Pumporgan (7) der zweiten Zuleitung (4) in einer Zone des Erhitzers (5) ausmündet, die mehrheitlich ^4He aus dem ^3He - ^4He -Gemisch im Dampf-Flüssigkeit-Gleichgewicht auffängt. 20
9. Kühler nach einem der Ansprüche 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Pumporgan (7) der zweiten Zuleitung (4) oder das stromaufwärtige Ende der zweiten Zuleitung (4) in einer Zone des Erhitzers (5) über ein Element (9) zum selektiven Filtern von ^4He ausmündet. 25
10. Verfahren zum Erzeugen von Kälte mit sehr niedriger Temperatur, insbesondere geringer als 2 K und vorzugsweise geringer als 1 K durch einen Mischzyklus, bei dem ein diphasisches Gemisch der zwei Isotope ^3He und ^4He in einer Mischkammer (2) aus flüssigem ^3He und aus flüssigem ^4He erzeugt wird, die getrennt über jeweilige Zuleitungen (3, 4) zugeführt werden, bei welchem dem Gemisch, über eine Ableitung (8), ^3He einer so genannten konzentrierten Phase entzogen wird, um ^3He in eine so genannte verdünnte Phase übergehen zu lassen, und mit Hilfe dessen die durch den Übergang von ^3He in die verdünnte Phase erzeugten Frigorien rückgewonnen werden; wobei die Trennung der Phasen des diphasischen Gemischs durch die Steuerung der reinen ^3He - und ^4He -Ströme, die getrennt in die Mischkammer (2) zugeführt werden, und der Kapil-

larkräfte in den Leitungen (3, 4) unabhängig von der Schwerkraft erfolgt, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Verdünnungszyklus eine geschlossene Schleife ausführt, wobei das Verfahren Folgendes umfasst:

- einen ersten Schritt des Rückgewinnens und des Trennens der zwei Isotope ^3He und ^4He der Fraktion des durch eine Ableitung (8) entzogenen Gemischs,
- einen zweiten Schritt des Wiederaufzuführens der zwei Isotope ^3He und ^4He , die während des ersten Schritts getrennt wurden, in die Mischkammer (2).

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Schritt des Rückgewinnens und des Trennens der zwei Isotope in einem Erhitzer (5) durchgeführt wird, der ausgebildet ist, um das ^3He - ^4He -Gemisch (2) im Dampf-Flüssigkeit-Gleichgewicht zu halten. 30
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zweite Schritt des Wiederaufzuführens der zwei Isotope ^3He und ^4He in die Mischkammer (2) über jeweilige Pumporgane (6, 7) durchgeführt wird. 35
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gemisch der zwei Isotope ^3He und ^4He in der Mischkammer (2) auf einer Temperatur zwischen 10 mK und 300 mK gehalten wird. 40
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** es, zwischen dem ersten Schritt des Rückgewinnens und des Trennens und dem zweiten Schritt des Wiedereinführens, einen Schritt des jeweiligen Abkühlens (10, 11) eines oder jedes der getrennten Isotope zwischen 1 und 2 K und vorzugsweise zwischen 1,4 und 1,5 K aufweist. 45
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** es einen Mischungskühler verwendet, der Folgendes umfasst: eine Mischkammer (2), eine erste Leitung (3) zum Zuleiten mit einem stromaufwärtigen Ende, das mit einer Heliumquelle des Isotops 3 (^3He) verbunden ist, und einem stromabwärtigen Ende, das mit der Mischkammer (2) verbunden ist, eine zweite Leitung (4) zum Zuleiten mit einem stromaufwärtigen Ende, das mit einer Heliumquelle des Isotops 4 (^4He) verbunden ist, und einem stromabwärtigen Ende, das mit der Mischkammer (2) verbunden ist, eine Leitung zum Ableiten (8) einer Fraktion des ^3He - ^4He -Gemischs, das in der Mischkammer (2) aus ^3He und ^4He , die von der ersten (3) bzw. von der zweiten

Leitung (4) bereitgestellt werden, erzeugt wird, wobei die Ableitung (4) ein stromaufwärtiges Ende, das mit der Mischkammer (2) verbunden ist, und ein stromabwärtiges Ende, das mit einem Volumen (5) zur Rückgewinnung der Fraktion des abgeleiteten Gemischs verbunden ist, umfasst, wobei die stromabwärtigen Enden der ersten (3) und der zweiten Leitung (4) und das stromaufwärtige Ende der Ableitung (8) mit einer gemeinsamen Verbindung fluidisch kommunizieren, derart, dass sie die Mischkammer (2) bilden, wobei die Phasentrennung zwischen den Heliumgemischen durch die ^3He - und ^4He -Ströme und die Kapillarkräfte in den Leitungen anstelle der Schwerkraft gesteuert wird, wobei der Kühler (1) ferner einen Erhitzer (5) aufweist, der das Volumen zur Rückgewinnung des Gemischs bildet, wobei der Erhitzer (5) bewirkt, dass das ^3He - und ^4He -Gemisch (2) in einem Dampf-Flüssigkeit-Gleichgewicht gehalten wird, wobei der Erhitzer (5) die ^3He -Quelle und die ^4He -Quelle gleichzeitig bildet, wobei die erste Zuleitung (3) ein Organ (6) zum selektiven Pumpen von ^3He in den Erhitzer (5) umfasst, das die Mischkammer (2) kontinuierlich und in einer ersten geschlossenen Schleife mit ^3He versorgt, wobei die zweite Zuleitung (4) ein Organ (7) zum selektiven Pumpen von ^4He in den Erhitzer (5) umfasst, das die Mischkammer (2) kontinuierlich und in einer zweiten geschlossenen Schleife mit ^4He versorgt.

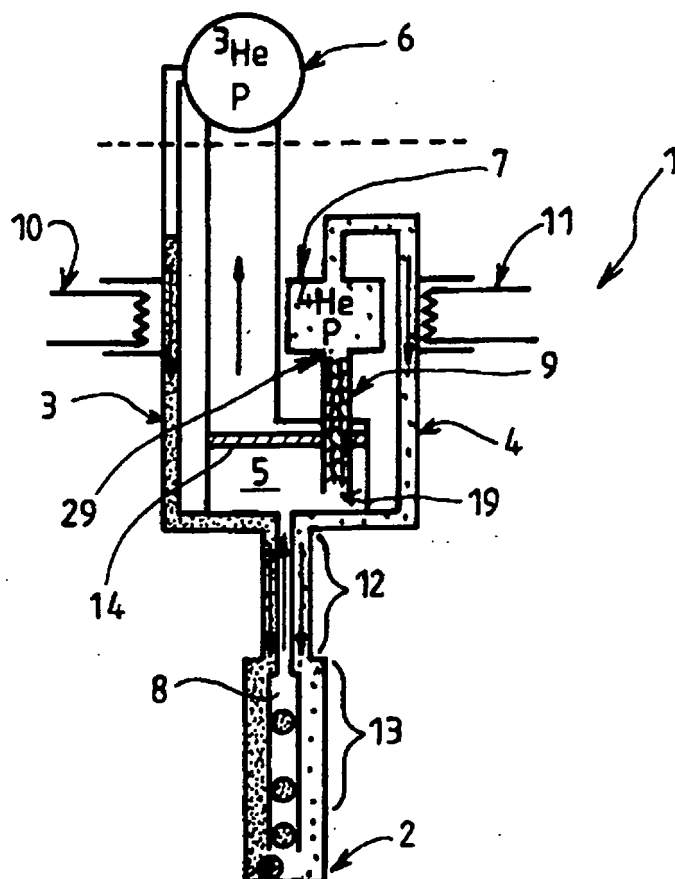
Claims

1. Dilution refrigerator for obtaining very low temperatures, comprising a mixing chamber (2), a first feed pipe (3) having an upstream end connected to a source of helium isotope 3 (^3He) and a downstream end connected to the mixing chamber (2), a second feed pipe (4) having an upstream end connected to a source of helium isotope 4 (^4He) and a downstream end connected to the mixing chamber (2), a pipe (8) for discharging the mixture of ^3He - ^4He produced in the mixing chamber (2) from the ^3He and the ^4He supplied respectively by the first (3) and second (4) pipes, the discharge pipe (4) comprising an upstream end connected to the mixing chamber (2) and a downstream end connected to a volume (5) for recovering the fraction of the discharged mixture, the downstream ends of the first (3) and second (4) pipes and the upstream end of the discharge pipe (8) communicating fluidically at a common junction so as to form the mixing chamber (2), the phase separation between the helium mixtures ^3He - ^4He being controlled by the flows of ^3He and ^4He in the pipes (3, 4, 8) and the capillary forces in the pipes independently of gravity, **characterised in that** it comprises a distiller (5) constituting the volume in which the mixture is recovered, the distiller (5) keeping the mixture (2)

of the ^3He and ^4He at liquid-vapour equilibrium, the distiller (5) forming both the source of ^3He and the source of ^4He , the first feed pipe (3) comprising a member (6) for selectively pumping ^3He into the distiller (5) in order to feed the mixing chamber (2) with ^3He continuously and in a first closed loop, the second feed pipe (4) comprising a member (7, 9) for selectively pumping ^4He into the distiller (5) in order to feed the mixing chamber (2) with ^4He continuously and in a distinct second closed loop.

2. Refrigerator according to claim 1, **characterised in that** the distiller (5) comprises a member (14) for containing the liquid phase with respect to the gaseous phase.
3. Refrigerator according to claim 2, **characterised in that** the member (7, 9) for selectively pumping the ^4He comprises a superleak (9) in fluidic communication (19) with the liquid phase contained by the containment member (14) and a pumping member (7), the intake of which is connected to the liquid phase (29) via the superleak (9).
4. Refrigerator according to any of claims 1 to 3, **characterised in that** the first (3) and second (4) pipes and the discharge pipe (8) are assembled in order to exchange heat between the distiller (5) and the mixing container (2).
5. Refrigerator according to any of claims 1 to 4, **characterised in that** the pumping member (6) of the first feed pipe (3) is a pump for pumping gaseous ^3He in the manner of a mechanical pump and/or one or more absorption pumps.
6. Refrigerator according to any of claims 1 to 5, **characterised in that** the upstream end of the first feed pipe (3) and/or the pumping member (6) of the first feed pipe (3) leads into a zone of the distiller (5) that collects predominantly ^3He from the ^3He - ^4He mixture at liquid-vapour equilibrium.
7. Refrigerator according to any of claims 1 to 6, **characterised in that** the pumping member (7) of the second feed pipe (4) is a pump (P) for pumping liquid ^4He in the manner of a mechanical pump and/or a fountain pump (thermomechanical pump) or a superfluid helium mechanical pump.
8. Refrigerator according to any of claims 1 to 7, **characterised in that** the upstream end of the second feed pipe (4) and/or the pumping member (7) of the second feed pipe (4) leads into a zone of the distiller (5) that collects predominantly ^4He from the ^3He - ^4He mixture at liquid-vapour equilibrium.
9. Refrigerator according to either claim 7 or claim 8,

- characterised in that** the pumping member (7) of the second feed pipe (4) or the upstream end of the second feed pipe (4) leads into a zone of the distiller (5) via an element (9) for the selective filtration of ^4He .
10. Method for producing cold at a very low temperature, in particular at less than 2 K and more preferably at less than 1 K, using a dilution cycle in which a diphasic mixture of the two isotopes ^3He and ^4He is created in a mixing chamber (2) from liquid ^3He and liquid ^4He which are introduced separately via respective feed pipes (3, 4), ^3He from a phase known as the concentrated phase being extracted from said mixture, via a discharge pipe (8), in order to cause the ^3He to enter a phase known as the diluted phase, and by virtue of which the unit of refrigeration generated by the ^3He entering the dilute phase is recovered, the phases of the diphasic mixture being separated by controlling the flows of pure ^3He and ^4He introduced separately into the mixing chamber (2) and the capillary forces in the pipes (3, 4) independently of gravity, **characterised in that** the dilution cycle operates in a closed loop, the method comprising:
- a first step of recovering and separating the two isotopes ^3He and ^4He from the fraction of the mixture extracted by a discharge pipe (8); and
 - a second step of re-introducing the two isotopes ^3He and ^4He separated during the first step into the mixing chamber (2).
11. Method according to claim 10, **characterised in that** the first step of recovering and separating the two isotopes is carried out in a distiller (5) adapted to keep the ^3He - ^4He mixture (2) at liquid-vapour equilibrium.
12. Method according to either claim 10 or claim 11, **characterised in that** the second step of re-introducing the two ^3He and ^4He isotopes into the mixing chamber (2) is carried out using respective pumping members (6, 7).
13. Method according to any of claims 10 to 12, **characterised in that** the mixture of the two isotopes ^3He and ^4He is kept in the mixing chamber (2) at a temperature of between 10 mK and 300 mK.
14. Method according to any of claims 10 to 13, **characterised in that** it comprises, between the first step of recovery and separation and the second step of re-introduction, a step (10, 11) of respectively cooling one or each of the separated isotopes between 1 and 2 K, and preferably between 1.4 and 1.5 K.
15. Method according to any of claims 10 to 14, **characterised in that** it uses a dilution refrigerator comprising a mixing chamber (2), a first feed pipe (3) having an upstream end connected to a source of helium isotope 3 (^3He) and a downstream end connected to the mixing chamber (2), a second feed pipe (4) having an upstream end connected to a source of helium isotope 4 (^4He) and a downstream end connected to the mixing chamber (2), a pipe (8) for discharging a fraction of the mixture of ^3He - ^4He produced in the mixing chamber (2) from the ^3He and the ^4He supplied respectively by the first (3) and second (4) pipes, the discharge pipe (4) comprising an upstream end connected to the mixing chamber (2) and a downstream end connected to a volume (5) for recovering the fraction of the discharged mixture, the downstream ends of the first (3) and second (4) pipes and the upstream end of the discharge pipe (8) communicating fluidically at a common junction so as to form the mixing chamber (2), the phase separation between the helium mixtures being controlled by the flows of ^3He and ^4He and the capillary forces in the pipes rather than by gravity, the refrigerator (1) further comprising a distiller (5) constituting the volume in which the mixture is recovered, the distiller (5) keeping the mixture (2) of the ^3He and ^4He at liquid-vapour equilibrium, the distiller (5) forming both the source of ^3He and the source of ^4He , the first feed pipe (3) comprising a member (6) for selectively pumping ^3He into the distiller (5) feeding the mixing container (2) with ^3He continuously and in a first closed loop, the second feed pipe (4) comprising a member (7) for selectively pumping ^4He into the distiller (5) feeding the mixing container (2) with ^4He continuously and in a second closed loop.



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

- EP 0327457 A [0008]
- FR 2626658 [0009] [0025]