

12 DEMANDE DE CERTIFICAT D'UTILITE

A3

22 Date de dépôt : 16.02.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 23.08.24 Bulletin 24/34.

56 Les certificats d'utilité ne sont pas soumis à la
procédure de rapport de recherche.

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

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

72 Inventeur(s) : PENNEC Yan.

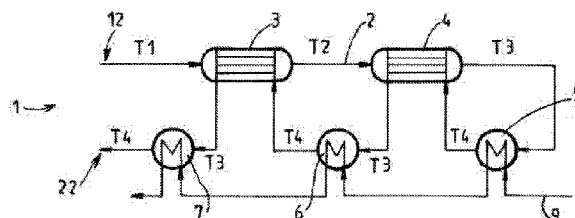
73 Titulaire(s) : L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME
POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PRO-
CEDES GEORGES CLAUDE SOCIETE ANONYME.

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

54 Dispositif et installation de réchauffage d'un flux de fluide cryogénique et procédé de vaporisation
correspondant.

57 L'invention concerne un dispositif de réchauffage d'un
flux de fluide cryogénique comprenant un circuit (2) compre-
nant, disposés en série d'amont en aval entre une extrémité
d'entrée (12) et une extrémité de sortie (22), une pluralité
d'échangeurs (3, 4, 5, 6, 7) de chaleur assurant un échange
thermique entre le fluide cryogénique circulant dans le cir-
cuit (2) et au moins un flux de fluide de réchauffage, dans
lequel au moins un premier (5, 6, 7) échangeur de chaleur
de la pluralité d'échangeurs de chaleur est en échange ther-
mique avec un premier fluide de réchauffage distinct du
fluide cryogénique, par exemple du glycol, caractérisé en ce
qu'un au moins un second (3, 4) échangeur de chaleur de la
pluralité d'échangeurs de chaleur est en échange thermique
avec un second fluide de réchauffage constitué du fluide
cryogénique déjà réchauffé dans le au moins un premier (5,
6, 7) échangeur de chaleur.

Figure d'abrégé: Fig. 2



Description

Titre de l'invention : Dispositif et installation de réchauffage d'un flux de fluide cryogénique et procédé de vaporisation correspondant

- [0001] L'invention concerne un dispositif de réchauffage d'un flux de fluide cryogénique, une installation comprenant un tel dispositif et un procédé de vaporisation correspondant.
- [0002] L'invention concerne plus particulièrement un dispositif de réchauffage d'un flux de fluide cryogénique, par exemple pour la vaporisation d'un liquide cryogénique tel que de l'hydrogène liquide, le dispositif comprenant un circuit ayant une extrémité d'entrée destinée à être reliée à une source de fluide cryogénique et une extrémité de sortie destinée à être reliée à un receveur de fluide réchauffé, le circuit comprenant, disposés en série d'amont en aval entre l'extrémité d'entrée et l'extrémité de sortie, une pluralité d'échangeurs de chaleur assurant un échange thermique entre le fluide cryogénique circulant dans le circuit et au moins un flux de fluide de réchauffage, dans lequel au moins un premier échangeur de chaleur de la pluralité d'échangeurs de chaleur est en échange thermique avec un premier fluide de réchauffage distinct du fluide cryogénique, par exemple du glycol.
- [0003] Une solution connue pour vaporiser un liquide cryogénique tel que l'hydrogène liquide utilise un réchauffage au glycol. Cette technologie utilise des échangeurs à plaques.
- [0004] Le glycol est cependant susceptible de geler au contact de l'hydrogène liquide. Cela conduit à une conduction thermique plus faible et peut provoquer un givrage complet voire l'éclatement de l'enveloppe de l'échangeur.
- [0005] De plus, l'échangeur (réchauffeur) est soumis à de très grands gradients de température et à des cycles. Ceci provoque une contrainte importante pour la conception de ce type de plaque pour éviter une rupture par fatigue.
- [0006] Un but de la présente invention est de pallier tout ou partie des inconvénients de l'art antérieur relevés ci-dessus.
- [0007] 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 ce qu'au moins un second échangeur de chaleur de la pluralité d'échangeurs de chaleur est en échange thermique avec un second fluide de réchauffage constitué du fluide cryogénique déjà réchauffé dans le au moins un premier échangeur de chaleur.
- [0008] Par ailleurs, des modes de réalisation de l'invention peuvent comporter l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :
- le moins un second échangeur de chaleur est disposé dans le circuit en amont

du au moins un premier échangeur de chaleur,

- le moins un second échangeur de chaleur est un échangeur à contre-courant, c'est-à-dire assurant un échange thermique entre le fluide cryogénique et le premier fluide de réchauffage circulant selon des sens opposés,
- le circuit comprend plusieurs seconds échangeurs de chaleur disposés en série et plusieurs premiers échangeurs de chaleur disposés en série,
- les seconds échangeurs de chaleur sont disposés en série d'amont en aval dans le circuit et sont en échange thermique respectivement avec des flux du second fluide de réchauffage réchauffés sortant respectivement de premiers échangeurs positionnés d'amont en aval dans le circuit,
- les seconds échangeurs de chaleur disposés en série sont configurés pour réchauffer le flux de fluide cryogénique ayant une première température initiale à l'extrémité d'entrée à des secondes températures croissantes respectives à la sortie des seconds échangeurs de chaleur,
- les premiers échangeurs de chaleur disposés en série sont configurés pour réchauffer le flux de fluide cryogénique ayant une seconde température après sa sortie d'un second échangeur de chaleur jusqu'à une troisième température supérieure à la seconde température,
- le dernier échangeur de chaleur de la pluralité d'échangeurs de chaleur situé avant l'extrémité de sortie du circuit est un premier échangeur de chaleur,
- au moins l'un parmi : les premiers échangeurs de chaleur et les seconds échangeurs de chaleur est un échangeur à tubes,
- tout ou partie des premiers échangeurs de chaleur et des seconds échangeurs de chaleur sont logés dans un même boîtier,
- les premiers échangeurs de chaleur sont en échange thermique un flux du premier fluide de réchauffage circulant dans le boîtier et dans lequel sont immergés au moins une partie desdits premiers échangeur de chaleur.

[0009] L'invention concerne également une installation de stockage et de fourniture de gaz comprenant un stockage de fluide cryogénique liquéfié, par exemple de l'hydrogène liquéfié, un circuit de soutirage de fluide cryogénique du stockage, dans laquelle le circuit de soutirage comprend un dispositif de réchauffage selon l'une quelconque des revendications précédentes.

[0010] L'invention concerne également un procédé de vaporisation d'un flux de fluide cryogénique utilisant un dispositif l'une quelconque des caractéristiques ci-dessus ou ci-dessous ou une installation précitée, le procédé comprenant un réchauffage du flux de fluide cryogénique dans une pluralité d'échangeurs de chaleur disposés en série d'amont en aval, le procédé comprenant une étape de pré-réchauffage du fluide cryogénique en amont d'un circuit avec un flux de ce même fluide cryogénique déjà

réchauffé en aval dans le circuit par échange thermique avec un premier fluide de réchauffage distinct du fluide cryogénique.

[0011] L'invention peut concerner également tout dispositif ou procédé alternatif comprenant toute combinaison des caractéristiques ci-dessus ou ci-dessous dans le cadre des revendications.

[0012] D'autres particularités et avantages apparaîtront à la lecture de la description ci-après, faite en référence aux figures dans lesquelles :

Brève description des figures

[0013] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés dans lesquels :

[0014] [Fig.1] est une vue schématique et partielle illustrant une installation susceptible d'intégrer un dispositif de réchauffage selon l'invention,

[0015] [Fig.2] est une vue schématique et partielle illustrant un exemple de structure et de fonctionnement d'un dispositif de réchauffage selon l'invention,

[0016] [Fig.3] est une vue en coupe, schématique et partielle, illustrant un autre exemple d'agencement d'un tel dispositif.

Description détaillée

[0017] Sur toutes les figures, les mêmes références se rapportent aux mêmes éléments.

[0018] Dans cette description détaillée, les réalisations suivantes sont des exemples. Bien que la description se réfère à un ou plusieurs modes de réalisation, cela ne signifie pas que les caractéristiques s'appliquent seulement à un seul mode de réalisation. De simples caractéristiques de différents modes de réalisation peuvent également être combinées et/ou interchangées pour fournir d'autres réalisations.

[0019] Le dispositif 1 de réchauffage illustré schématiquement à la [Fig.2] comprend un circuit 2 ayant une extrémité d'entrée 12 destinée à être reliée à une source 3 de fluide cryogénique et une extrémité de sortie 22 destinée à être reliée à un receveur du fluide réchauffé.

[0020] Le circuit 2 comprend, disposés en série d'amont en aval entre l'extrémité d'entrée 12 et l'extrémité de sortie 22, une pluralité d'échangeurs 3, 4, 5, 6, 7. Les termes « amont » et « aval » font référence au sens d'écoulement du fluide cryogénique à réchauffer lors du fonctionnement du dispositif 1.

[0021] Les échangeurs 3, 4, 5, 6, 7 de chaleur sont configurés pour assurer un échange thermique entre le fluide cryogénique circulant dans le circuit 2 (d'amont vers l'aval) et au moins un flux de fluide de réchauffage.

[0022] Des premiers 5, 6, 7 échangeur de chaleur disposés dans la partie aval du circuit 2 et sont en échange thermique avec un premier fluide de réchauffage distinct du fluide cryogénique. Par exemple, ce premier fluide de réchauffage est du glycol ou un liquide

glycolé. Par exemple, un circuit de glycol alimente en série les premiers 5, 6, 7 échangeurs disposés en série d'amont en aval. Tout autre fluide ou source de chaleur peut être envisagée pour réchauffer le fluide cryogénique dans ces premiers échangeurs 5, 6, 7. De préférence, ce premier fluide de réchauffage a une température de congélation inférieure à la température du fluide cryogénique à réchauffer.

- [0023] De seconds 3, 4 échangeurs de chaleur disposés plus en amont dans le circuit 2 et sont en échange thermique avec du fluide cryogénique déjà réchauffé dans les premiers 5, 6, 7 échangeur de chaleur.
- [0024] Les seconds 3, 4 échangeurs de chaleur disposés d'amont en aval dans le circuit 2 et sont de préférence en échange thermique respectivement avec des flux de second fluide de réchauffage déjà réchauffés dans respectivement des premiers 5, 6, 7 échangeur de chaleur placés dans l'ordre inverse (d'aval en amont) dans le circuit 2. C'est-à-dire que le second échangeur 3 de chaleur placé le plus en amont dans le circuit 2 (première position par exemple) est en échange thermique avec le flux de fluide cryogénique qui sort du premier échangeur 6 (par exemple en quatrième position dans le circuit 2). Ce premier échangeur 6 de chaleur en quatrième position reçoit par exemple en entrée le flux de fluide cryogénique qui a déjà échangé thermiquement avec le second échangeur 4 de chaleur situé en deuxième position dans le circuit 2 puis avec le premier échangeur 5 en troisième position dans le circuit 2.
- [0025] C'est-à-dire que, de préférence, le second échangeur 3 de chaleur placé le plus en amont dans le circuit 2 est réchauffé avec le flux de fluide cryogénique qui a déjà été réchauffé dans un autre second échangeur 4 de chaleur en aval et un ou plusieurs premiers échangeurs 5, 6 de chaleur (en échange avec du glycol par exemple).
- [0026] De même, le second échangeur 4 de chaleur suivant (en deuxième position dans le circuit 2) est en échange thermique avec le flux de fluide cryogénique qui sort du premier échangeur 5 plus en amont dans le circuit 2 (en troisième position dans le circuit 2 dans cet exemple).
- [0027] Dans l'exemple illustré, le dispositif 1 comprend deux seconds 3, 4 échangeurs de chaleur en série puis trois premiers 5, 6, 7 échangeur de chaleur en série dont les positions sont désignées respectivement position : un deux trois, quatre et cinq (d'amont en aval dans le circuit 2). L'échangeur de chaleur 3 (position un) reçoit comme fluide de réchauffage le flux de fluide cryogénique qui sort réchauffé de l'échangeur de chaleur 6 en position 4. L'échangeur de chaleur 4 (position deux) reçoit comme fluide de réchauffage le flux de fluide cryogénique qui sort réchauffé de l'échangeur de chaleur 5 (position 3).
- [0028] Comme schématisé, le flux de fluide cryogénique qui arrive à l'extrémité d'entrée 12 est à une première température T1 initiale, par exemple de l'ordre de 20K. Ce flux est réchauffé dans le premier échangeur 3 de chaleur (position un) à une seconde tem-

pérature T2, par exemple de l'ordre de 120K, par échange thermique avec un flux de ce fluide cryogénique qui sort du premier échangeur 6 (position 4) à une troisième température T4 (par exemple de l'ordre de 320K).

- [0029] Ce flux de fluide cryogénique à la seconde température T2 est réchauffé ensuite dans le second échangeur 4 suivant (position deux) à une troisième température T3, par exemple de l'ordre de 220K, par échange thermique avec un flux de ce fluide cryogénique qui sort du premier échangeur de chaleur 5 (position 3) à une quatrième température T4 (par exemple de l'ordre de 320K).
- [0030] Le flux de fluide cryogénique à la troisième température T3 est ensuite réchauffé dans le premier échangeur 5 de chaleur (position 3) par échange thermique avec un premier fluide de réchauffage comprenant du glycol (ou autre fluide caloporteur approprié) pour atteindre la quatrième température T4 (par exemple de l'ordre de 320K).
- [0031] Ce flux de fluide cryogénique à la quatrième T4 repasse ensuite dans le second échangeur 4 en position deux pour réchauffer le flux de fluide cryogénique froid et en ressort à la troisième température T3. Ce flux à la troisième température T3 est ensuite réchauffé à nouveau à la quatrième température T4 dans un autre premier échangeur 6 de chaleur (position quatre). Ce flux à la quatrième température T4 repasse ensuite dans le second échangeur 4 en position un pour réchauffer le flux de fluide cryogénique froid et en ressort à la troisième température T3. Enfin, ce flux à la troisième température T3 peut ensuite être réchauffé à nouveau à la quatrième température T4 dans un autre premier échangeur 6 de chaleur (position cinq) avant d'être admis à la sortie 22.
- [0032] C'est-à-dire que, d'amont en aval, le flux de fluide cryogénique est réchauffé dans plusieurs échangeurs de chaleurs en série et le réchauffage est assuré en amont avec ce même fluide cryogénique (de préférence à contre-courant) réchauffé en aval tandis que le réchauffage en aval est assuré par un fluide caloporteur distinct (glycol par exemple).
- [0033] Ainsi, premières étapes du réchauffage du fluide cryogénique (dans cet exemple dans les deux seconds échangeurs 3, 4 de chaleur) où la température du fluide cryogénique à refroidir est inférieure au point de congélation du premier fluide de réchauffage (glycol dans cet exemple) sont réalisées en utilisant uniquement le fluide cryogénique comme vecteur thermique.
- [0034] Le second fluide de réchauffage (hydrogène réchauffé) utilisé pour refroidir à contre-courant est à une température typiquement comprise entre 320K et 220K, c'est-à-dire au-dessus du point de congélation du glycol utilisé en aval dans le circuit. Le différentiel de température des deux canaux des seconds échangeurs 3, 4 de chaleur peut être égal en première approximation car le débit massique peut être strictement égal.

Les deux flux échangent principalement de la chaleur spécifique de type gazeux.

- [0035] Plus en aval, lorsque la température de l'hydrogène est supérieure à la température de congélation du glycol, le glycol (ou autre) peut être utilisé en toute sécurité dans les premiers échangeurs 6, 7. A noter que pour cette application, on a considéré que la température du fluide glycolé n'est que marginalement affectée par l'échange de chaleur.
- [0036] Comme illustré schématiquement à la [Fig.3], tout ou partie des premiers 5, 6, 7 échangeur de chaleur et/ou des seconds 3, 4 échangeurs de chaleur peuvent être logés dans un même boîtier 8.
- [0037] Par exemple, les premiers 5, 6, 7 échangeurs de chaleur sont en échange thermique un flux du premier fluide de réchauffage circulant dans le boîtier 8 et dans lequel sont immergés au moins une partie desdits premiers 5, 6, 7 échangeur de chaleur. Ainsi, l'ensemble de tous les échangeurs de chaleur peut être encapsulé au sein d'une seule enveloppe 8 de fluide glycolé.
- [0038] Le dispositif 1 peut utiliser un échangeur de chaleur à serpentin du type « Tube in Tube » pour les premiers échangeurs 5, 6, 7 de chaleur. Ce type d'échangeur présente les avantages d'être facile à fabriquer et d'être très résistant aux sollicitations mécaniques thermiques (au prix parfois d'une relative moindre performance d'échange thermique). Le dispositif 1 peut utiliser un tube coaxial pour le ou les seconds échangeurs 3, 4 de chaleur.
- [0039] La fabrication peut être réalisée en construisant séparément des seconds échangeurs 3, 4 de chaleur rectilignes (longueur par exemple d'environ 1m,5) puis de les connecter avec un seul tube. Enfin, un boîtier 8 peut être soudé autour et comprenant des chicanes pour diriger le premier fluide de réchauffage (glycol) dans un chemin interne en forme de S par exemple.
- [0040] Le dispositif 1 évite le gel du premier fluide de réchauffage (glycol).
- [0041] L'utilisation d'échangeurs 3, 4 de type à tubes coaxial pour le pré-refroidissement (hydrogène/hydrogène) est efficace et à faible coût et une faible sensibilité à la contraction thermique.
- [0042] En particulier, le dispositif 1 peut s'appliquer au réchauffage (vaporisation) d'hydrogène destinés alimenter des piles à combustible ou moteurs de véhicules, notamment utilitaires ou lourds.
- [0043] Comme schématisé à la [Fig.1], le dispositif 1 peut être utilisé dans une installation de stockage et de fourniture de gaz comprenant un stockage 3 de fluide cryogénique liquéfié, par exemple de l'hydrogène liquéfié, un circuit 10 de soutirage de fluide cryogénique du stockage, le circuit 10 de soutirage pouvant comprendre un tel dispositif 1 de réchauffage.

Revendications

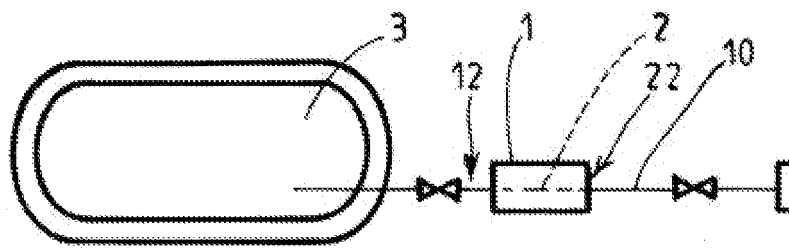
- [Revendication 1] Dispositif de réchauffage d'un flux de fluide cryogénique, par exemple pour la vaporisation d'un liquide cryogénique tel que de l'hydrogène liquide, le dispositif (1) comprenant un circuit (2) ayant une extrémité d'entrée (12) destinée à être reliée à une source (3) de fluide cryogénique et une extrémité de sortie (22) destinée à être reliée à un receveur de fluide réchauffé, le circuit (2) comprenant, disposés en série d'amont en aval entre l'extrémité d'entrée (12) et l'extrémité de sortie (22), une pluralité d'échangeurs (3, 4, 5, 6, 7) de chaleur assurant un échange thermique entre le fluide cryogénique circulant dans le circuit (2) et au moins un flux de fluide de réchauffage, dans lequel au moins un premier (5, 6, 7) échangeur de chaleur de la pluralité d'échangeurs de chaleur est en échange thermique avec un premier fluide de réchauffage distinct du fluide cryogénique, par exemple du glycol, caractérisé en ce qu'un au moins un second (3, 4) échangeur de chaleur de la pluralité d'échangeurs de chaleur est en échange thermique avec un second fluide de réchauffage constitué du fluide cryogénique déjà réchauffé dans le au moins un premier (5, 6, 7) échangeur de chaleur.
- [Revendication 2] Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le au moins un second (3, 4) échangeur de chaleur est disposé dans le circuit (2) en amont du au moins un premier (5, 6, 7) échangeur de chaleur.
- [Revendication 3] Dispositif selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le au moins un second (3, 4) échangeur de chaleur est un échangeur à contre-courant, c'est-à-dire assurant un échange thermique entre le fluide cryogénique et le premier fluide de réchauffage circulant selon des sens opposés.
- [Revendication 4] Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le circuit (2) comprend plusieurs seconds (3, 4) échangeurs de chaleur disposés en série et plusieurs premiers (5, 6, 7) échangeurs de chaleur disposés en série.
- [Revendication 5] Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que les seconds (3, 4) échangeurs de chaleur sont disposés en série d'amont en aval dans le circuit (2) et sont en échange thermique respectivement avec des flux du second fluide de réchauffage réchauffés sortant respectivement de premiers (5, 6, 7) échangeurs positionnés d'amont en aval dans le circuit (2).
- [Revendication 6] Dispositif selon la revendication 4 ou 5, caractérisé en ce que les

seconds (3, 4) échangeurs de chaleur disposés en série sont configurés pour réchauffer le flux de fluide cryogénique ayant une première température (T1) initiale à l'extrémité d'entrée (12) à des secondes températures (T2, T3) croissantes respectives à la sortie des seconds (3, 4) échangeurs de chaleur.

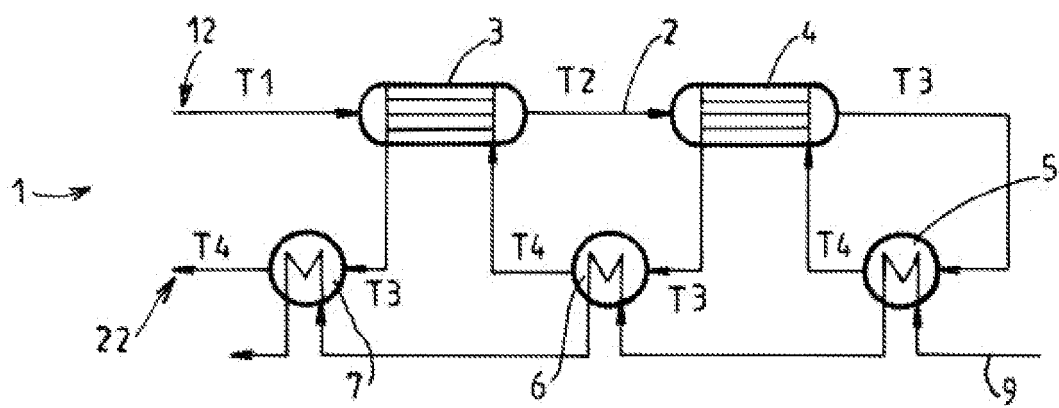
- [Revendication 7] Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que les premiers (5, 6, 7) échangeurs de chaleur disposés en série sont configurés pour réchauffer le flux de fluide cryogénique ayant une seconde température (T3) après sa sortie d'un second (3, 4) échangeur de chaleur jusqu'à une troisième température (T4) supérieure à la seconde température (T3)
- [Revendication 8] Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que le dernier échangeur de chaleur de la pluralité d'échangeurs (3, 4, 5, 6, 7) de chaleur situé avant l'extrémité de sortie (22) du circuit est un premier (5, 6, 7) échangeur de chaleur.
- [Revendication 9] Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que, au moins l'un parmi : les premiers (5, 6, 7) échangeur de chaleur et les seconds (3, 4) échangeurs de chaleur est un échangeur à tubes.
- [Revendication 10] Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que tout ou partie des premiers (5, 6, 7) échangeur de chaleur et des seconds (3, 4) échangeurs de chaleur sont logés dans un même boîtier (8).
- [Revendication 11] Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce que les premiers (5, 6, 7) échangeurs de chaleur sont en échange thermique avec un flux du premier fluide de réchauffage circulant dans le boîtier (8) et dans lequel sont immergés au moins une partie desdits premiers (5, 6, 7) échangeur de chaleur.
- [Revendication 12] Installation de stockage et de fourniture de gaz comprenant un stockage (3) de fluide cryogénique liquéfié, par exemple de l'hydrogène liquéfié, un circuit (10) de soutirage de fluide cryogénique du stockage, caractérisé en ce que le circuit (10) de soutirage comprend un dispositif (1) de réchauffage selon l'une quelconque des revendications précédentes.
- [Revendication 13] Procédé de vaporisation d'un flux de fluide cryogénique utilisant un dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 11 ou une installation selon la revendication 12, le procédé comprenant un réchauffage du flux de fluide cryogénique dans une pluralité d'échangeurs de chaleur disposés en série d'amont en aval, le procédé comprenant une étape de pré-réchauffage du fluide cryogénique en amont d'un circuit

(2) avec un flux de ce même fluide cryogénique déjà réchauffé en aval dans le circuit (2) par échange thermique avec un premier fluide de réchauffage distinct du fluide cryogénique.

[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]

