

12 DEMANDE DE CERTIFICAT D'UTILITE

A3

22 Date de dépôt : 23.05.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 29.11.24 Bulletin 24/48.

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 Société Anonyme — FR.

72 Inventeur(s) : TURMEL Vanessa, PAGES Baptiste et
GOURJAULT Ancelin.

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

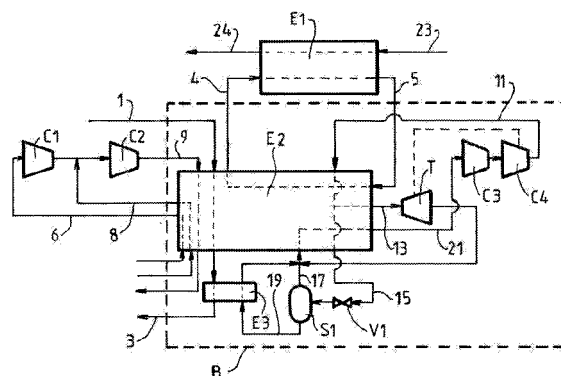
74 Mandataire(s) : L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME
POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PRO-
CEDES GEORGES CLAUDE.

54 Procédé et appareil de refroidissement d'un débit d'hydrogène gazeux.

57 Titre: Procédé et appareil de refroidissement d'un dé-
bit d'hydrogène gazeux

Dans un procédé de refroidissement d'un débit d'hydro-
gène gazeux (1), un débit de gaz naturel liquéfié (23) se ré-
chauffe dans un premier échangeur de chaleur (E1) par é-
change de chaleur avec un fluide intermédiaire (4) qui se
refroidit, le débit d'hydrogène gazeux se refroidit dans un
deuxième échangeur de chaleur (E2) par échange de cha-
leur avec le fluide intermédiaire (5) refroidi dans l'étape i), au
moins une partie du fluide intermédiaire arrivant dans le
deuxième échangeur de chaleur à une première tempéra-
ture T1, l'au moins une partie du fluide intermédiaire refroidit
dans le deuxième échangeur un premier fluide de cycle
comprimé (11) dans au moins un premier compresseur (C3,
C4), au moins une partie (13) du premier fluide de cycle sort
du deuxième échangeur à une deuxième température T2,
est détendue dans une turbine (T) et est envoyée au deu-
xième échangeur de chaleur à une troisième température
T3 inférieure à T2, se réchauffe dans le deuxième échan-
geur de chaleur jusqu'à une quatrième température T4 su-
périeure à la troisième température T3 et est envoyée à
cette quatrième température à l'entrée de l'au moins un pre-
mier compresseur.

Figure de l'abrégé : FIG. 1



Description

Titre de l'invention : Procédé et appareil de refroidissement d'un débit d'hydrogène gazeux

- [0001] La présente invention est relative à un procédé et à un appareil de refroidissement d'un débit d'hydrogène gazeux, en particulier en un tel procédé et appareil utilisant du froid d'un débit de gaz naturel à basse température.
- [0002] Un objet de l'invention est de diminuer la consommation électrique de la liquéfaction d'hydrogène en récupérant le froid de la vaporisation du GNL ou un débit de gaz naturel à moins de -100°C, voire moins de -150°C.
- [0003] La récupération des frigories de gaz naturel liquéfié ou GNL et son intégration avec un liquéfacteur d'hydrogène est connu de US3347055, US3398545, 'Integration design for demonstration of efficient liquefaction of hydrogen » de Berstad, IdealHy report D2.4, mars 2013, EP1580506, WO05080892, JPS1140777A, JP2005241232, WO07144078 et « Large scale hydrogen liquefaction in combination with LNG re-gasification ».de Kuendig et al. 16th World Hydrogen Energy Conference 2006 (WHEC 2006), Lyon, France, 2006: 3326–3333.
- [0004] Le procédé de Kuendig utilise plusieurs échangeurs de chaleur pour refroidir chacun deux fluides, dont le GNL et l'azote de cycle, le GNL et l'hydrogène à deux pressions et le GNL et l'hydrogène destiné à la liquéfaction. Ainsi les compresseurs de cycle d'azote et d'hydrogène opèrent avec une température d'en dessous de 0°C.
- [0005] La liquéfaction d'hydrogène est également connue comme étant un processus en deux étapes : un pré-refroidissement avec un cycle d'azote ou un cycle de réfrigérants mixtes suivi par la liquéfaction de l'hydrogène elle-même avec typiquement un cycle réfrigérant d'hydrogène ou d'hélium ou mixte incluant des gaz rares.
- [0006] Dans un terminal de gaz naturel liquéfié (GNL) les bateaux arrivent chargés en gaz naturel liquide à environ -150 °C. Afin de réinjecter le gaz sur le réseau, le GNL doit être gazéifié et réchauffé à la température ambiante. Dans le meilleur des cas, le gaz est chauffé avec de l'eau de mer dans un échangeur (appelé en anglais « Open Rack Vaporizer »), dans le pire, du gaz est brûlé pour apporter les calories nécessaires à la vaporisation. La quantité de GNL qui peut être gazéifiée peut aller de quelques tonnes à plusieurs centaines par jour. C'est donc une quantité très importante de froid fatal qui est libérée lors de cette opération.
- [0007] La liquéfaction d'hydrogène est une opération qui intervient après sa production afin de stocker et de transporter le plus d'hydrogène possible en occupant le moins de place possible. Le procédé de liquéfaction consiste à refroidir de l'hydrogène jusqu'à son point de rosée à -252 °C. La consommation électrique de la liquéfaction de

l'hydrogène occupe une part importante de l'énergie utilisée lors de la chaîne de valeur de l'hydrogène.

- [0008] Les deux systèmes ont des besoins complémentaires en chaud et en froid, une symbiose entre les deux installations peut être imaginée afin de réduire le coût énergétique de la liquéfaction d'hydrogène tout en satisfaisant les besoins en chaud du terminal GNL.
- [0009] Il est connu de diminuer la consommation énergétique de la liquéfaction d'H₂ en valorisant le froid disponible sur le terminal GNL. Le liquéfacteur d'hydrogène est basé sur un cycle de pré-refroidissement (typiquement azote et/ou réfrigérants mixtes) qui agit sur la boîte froide 80 K et un cycle de liquéfaction (typiquement hydrogène ou hélium) qui agit sur la boîte froide 20K.
- [0010] L'invention consiste en un procédé de récupération du froid du gaz naturel par un fluide intermédiaire qui est refroidi en face du GNL.
- [0011] Un échangeur de chaleur dédié (ci-après appelé "échangeur GNL") est utilisé pour échanger la chaleur entre le fluide intermédiaire et le gaz naturel liquéfié et/ou à une température de moins de -100°C, voire moins de -150°C provenant du terminal GNL. Le gaz naturel liquéfié ou pas est réchauffé contre le fluide intermédiaire pour refroidir le fluide intermédiaire à <-50°C (de préférence <-120°C).
- [0012] Selon un objet de l'invention, il est prévu un procédé de refroidissement d'un débit d'hydrogène gazeux dans lequel :
- i. Un débit de gaz naturel à moins de -100°C, voire moins de -150°C ou un débit de gaz naturel liquéfié se réchauffe, voire se vaporise, dans un premier échangeur de chaleur par échange de chaleur avec un fluide intermédiaire qui se refroidit
 - ii. Le débit d'hydrogène gazeux se refroidit dans un deuxième échangeur de chaleur de type à plaques et à ailettes par échange de chaleur avec le fluide intermédiaire refroidi dans l'étape i), au moins une partie du fluide intermédiaire arrivant dans le deuxième échangeur de chaleur à une première température T1, le débit d'hydrogène gazeux entrant dans le deuxième échangeur de chaleur à une première extrémité de celui-ci et sortant du deuxième échangeur à une deuxième extrémité de celui-ci.
 - iii. L'au moins une partie du fluide intermédiaire refroidit dans le deuxième échangeur un premier fluide de cycle comprimé dans au moins un premier compresseur, au moins une partie du premier fluide de cycle sort du deuxième échangeur à une deuxième température T2, est détendue dans une turbine et est envoyée au deuxième échangeur de chaleur à une troisième température T3 inférieure à T2, se réchauffe dans le deuxième échangeur de chaleur jusqu'à une quatrième température T4 supérieure à la troisième température

T3 et est envoyée à cette quatrième température à l'entrée de l'au moins un premier compresseur

- iv. L'au moins une partie du fluide intermédiaire se réchauffe dans le deuxième échangeur, sort de la première extrémité de celui-ci et est renvoyée au premier échangeur de chaleur pour se refroidir contre le gaz naturel et
- v. Au moins un deuxième fluide de cycle se réchauffe dans le deuxième échangeur de chaleur, est comprimé dans au moins un deuxième compresseur ayant une température d'aspiration qui est une cinquième température T5, est envoyé à la première extrémité du deuxième échangeur de chaleur et se refroidit jusqu'à la deuxième extrémité du deuxième échangeur de chaleur.

[0013] Selon d'autres aspects facultatifs de l'invention, il est prévu:

- le débit de gaz naturel à moins de -100°C , voire moins de -150°C ou le débit de gaz naturel liquéfié se réchauffe dans le premier échangeur de chaleur jusqu'à une température supérieure à 0°C .
- au moins une des première, deuxième, troisième, quatrième et cinquième températures est inférieure à -100°C , voire inférieure à -120°C .
- la première température T1 est supérieure à la deuxième température T2 et/ou à la quatrième température T4.
- la deuxième température T2 est supérieure à -150°C .
- une autre partie du fluide intermédiaire refroidi dans le premier échangeur de chaleur est envoyée à un autre deuxième échangeur de chaleur où elle sert à refroidir un autre débit d'hydrogène et un autre premier fluide de cycle avant d'être renvoyée au premier échangeur de chaleur.
- le premier échangeur de chaleur et le deuxième échangeur de chaleur sont situés à au moins 500 mètres l'un de l'autre.
- le premier échangeur de chaleur est du type échangeur à tube et calandre ou échangeurs à plaques imprimées.
- le premier fluide de cycle est de l'azote ou un réfrigérant mixte.
- le deuxième fluide de cycle est de l'hydrogène et/ou de l'hélium et/ou du néon et/ou un réfrigérant mixte.
- le fluide intermédiaire est de l'azote ou de l'argon ou du propane.
- le fluide intermédiaire contient entre 40 et 50% mol méthane, entre 0 et 10% mol propane ou propylène, entre 5 et 20% pentane et entre 40 et 50% éthylène ou éthane.
- la composition du fluide intermédiaire est telle qu'il est en phase dense après refroidissement dans le premier échangeur et circule au moyen d'une pompe.

[0014] Selon un autre objet de l'invention, il est prévu un appareil de refroidissement d'un débit d'hydrogène gazeux comprenant un premier échangeur de chaleur, un deuxième

échangeur de chaleur de type à plaques et à ailettes, au moins un premier compresseur, au moins un deuxième compresseur, une turbine, une conduite pour envoyer un débit de gaz naturel à moins de -100°C , voire à moins de -150°C ou un débit de gaz naturel liquéfié se réchauffer, voire se vaporiser, dans le premier échangeur de chaleur par échange de chaleur avec un fluide intermédiaire qui se refroidit, une conduite pour envoyer le fluide intermédiaire refroidi au deuxième échangeur de chaleur, une conduite pour envoyer le débit d'hydrogène gazeux à une première extrémité du deuxième échangeur de chaleur pour se refroidir dans le deuxième échangeur de chaleur par échange de chaleur avec le fluide intermédiaire refroidi dans l'étape i), au moins une partie du fluide intermédiaire arrivant dans le deuxième échangeur de chaleur à une première température T1, une conduite pour sortir le débit d'hydrogène du deuxième échangeur à une deuxième extrémité de celui-ci, des moyens pour envoyer un premier fluide de cycle comprimé dans l'au moins un premier compresseur au deuxième échangeur de chaleur, une conduite pour sortir au moins une partie du premier fluide de cycle du deuxième échangeur à une deuxième température T2 reliée à la turbine, une conduite pour envoyer le fluide détendu dans la turbine au deuxième échangeur de chaleur à une troisième température T3 inférieure à T2, une conduite pour envoyer le fluide détendu réchauffé dans le deuxième échangeur de chaleur jusqu'à une quatrième température T4 supérieure à la troisième température T3 à l'entrée de l'au moins un premier compresseur, une conduite pour envoyer l'au moins une partie du fluide intermédiaire réchauffé dans le deuxième échangeur de la première extrémité de celui-ci au premier échangeur de chaleur pour se refroidir contre le gaz naturel, une conduite pour envoyer au moins un deuxième fluide de cycle réchauffé dans le deuxième échangeur de chaleur pour être comprimé dans l'au moins un deuxième compresseur ayant une température d'aspiration qui est une cinquième température T5, une conduite pour envoyer le deuxième fluide comprimé de l'au moins un deuxième compresseur jusqu'à la première extrémité du deuxième échangeur de chaleur et une conduite pour sortir le deuxième fluide refroidi de la deuxième extrémité du deuxième échangeur de chaleur.

[0015] L'invention sera décrite de manière plus détaillée en se référant à la figure.

[0016] [Fig.1] représente un procédé de refroidissement d'hydrogène selon l'invention.

[0017] Un procédé de refroidissement d'hydrogène selon l'invention fait typiquement partie d'un procédé de liquéfaction d'hydrogène, le procédé selon l'invention servant à réduire la température de l'hydrogène à une température inférieure à 120K, typiquement moins que 90K.

[0018] Le refroidissement est effectué en envoyant l'hydrogène gazeux 1 à entre 20 et 30 bars abs dans un échangeur de chaleur E2 de type à plaques et à ailettes en aluminium brasé. L'hydrogène se refroidit d'abord dans l'échangeur E2 et ensuite dans

l'échangeur E3 formant le débit 3 à environ 80K, utilisant le froid venant d'un cycle d'azote et du chauffage, voire vaporisation d'un débit de gaz naturel 23, pouvant être un débit de gaz naturel sous forme gazeuse à moins de -150°C ou un débit de gaz naturel liquéfié.

[0019] Dans le cycle de refroidissement à l'azote

- a. L'azote 21 est comprimé via un compresseur C3 et un surpresseur C4 en série jusqu'à entre 14 et 18 bars abs et envoyé dans la boîte froide B pour y être refroidi.
- b. Le flux d'azote haute pression 11 comprimé dans les compresseurs C3, C4 est envoyé à l'extrémité chaude de l'échangeur de chaleur E2 ensuite divisé en deux courants 13, 15 à une température T2. Le courant 15 est refroidi dans l'échangeur de chaleur E2 jusqu'à liquéfaction de l'azote puis détendu via une vanne JT V1. Le courant 13 est détendu via une turbine T à partir de la température T2.
- c. L'azote liquéfié 15 est envoyé à un séparateur de phases S1 où se séparent le gaz 17 et un liquide 19. Le liquide 19 est vaporisé dans un échangeur E3 contre l'hydrogène refroidi dans l'échangeur de chaleur E2 et ensuite rejoint le gaz 17 et l'azote 13 détendu dans la turbine T formant un débit 21
- d. L'azote gazeux 21 est ensuite réchauffé dans la boîte froide contre les autres fluides (généralement hydrogène, hélium, MR ...) dans l'échangeur E2.
- e. L'azote gazeux est extrait de l'échangeur principal à une température cryogénique (<-100°C) pour être envoyé à l'aspiration du compresseur azote C2.

[0020] En variante, l'azote liquide peut aussi être créé au sein de la turbine T auquel cas tout l'azote 11 est envoyé à la turbine T, dans ce cas les courants 15, 17, 19 sont absents du schéma, ainsi que l'échangeur E3 et le séparateur S1.

[0021] Un cycle de liquéfaction ayant comme fluide de cycle de l'hydrogène, de l'hélium ou des réfrigérants mixtes fournit du froid pour la partie de liquéfaction d'un liquéfacteur. Or les compresseurs de ce cycle opèrent avec une température d'aspiration cohérente avec les températures de la partie de refroidissement de l'hydrogène en amont de la partie liquéfaction et sont donc alimentés avec un gaz réchauffé dans l'échangeur E2. La figure montre Les flux basse pression (BP) 6 et moyenne pression (MP) 8 provenant de la boîte 20K qui sont envoyés dans la boîte 80K B pour être réchauffés contre les autres fluides 13, 15, 17 de la boîte.

[0022] Les flux BP 6 et MP 8 réchauffés dans l'échangeur E2 sont extraits de l'échangeur E2, chacun à une température T5 inférieure à -100°C) pour être envoyés chacun à l'aspiration d'un des compresseurs de cycle C1, C2 en série. Un débit d'hydrogène ou d'hélium haute pression 9 est ensuite envoyé dans l'échangeur E2 à l'extrémité chaude

pour y être refroidi en parcourant complètement l'échangeur E2 avant d'être envoyé dans la boîte 20K.

- [0023] A la différence de l'art antérieur, le procédé comprend un échangeur de chaleur E1 où s'effectue l'échange de chaleur entre soit un débit de gaz naturel sous forme gazeuse à au plus -150°C soit avec un gaz naturel liquéfié 23 et un fluide intermédiaire 4 pouvant être liquide, gazeux ou diphasique, mono ou multi composé. Ce fluide intermédiaire doit être chimiquement inerte et peut être par exemple de l'azote ou de l'argon.
- [0024] Le fluide intermédiaire 4 est refroidi en face du fluide 23 formant un fluide intermédiaire 5 refroidi à une température T1 inférieure à -100°C et du gaz naturel 24 à une température supérieure à 0°C .
- [0025] Le fluide refroidi 5 est comprimé via un organe de compression (pompe ou compresseur, non-illustré).
- [0026] Le fluide 5 peut être de l'azote ou de l'argon ou du propane. Sinon le
- [0027] fluide intermédiaire 5 peut être un réfrigérant mixte à trois ou quatre composants contenant ou étant composé d'entre 40 et 50% mol méthane, entre 0 et 10% mol propane ou propylène, entre 5 et 20% pentane et entre 40 et 50% éthylène ou éthane. La composition du fluide intermédiaire est de préférence telle qu'il est en phase dense après refroidissement dans le premier échangeur et circule au moyen d'une pompe (non illustrée).
- [0028] Cette compression peut être située avant ou après l'échangeur E1.
- [0029] Si la compression est située après l'échangeur E1, le fluide refroidi peut être renvoyé dans l'échangeur E1 pour être refroidi de nouveau.
- [0030] Une fois refroidi, le fluide intermédiaire 5 est ensuite envoyé dans la boîte froide B pour être réchauffé jusqu'à température ambiante contre les autres fluides du cycle d'hydrogène, d'hélium ou de réfrigérants mixtes 9 et l'hydrogène à refroidir 1. Le fluide intermédiaire 5 est envoyé à l'échangeur de chaleur E2 à une température supérieure à la température d'entrée T2 de la turbine T, par exemple supérieure à -150°C et inférieure à -100°C .
- [0031] Les principaux avantages de l'installation sont les suivants :
- Utilisation de froid "gratuit" de $\sim -140^{\circ}\text{C}$ à température ambiante par l'envoi du fluide intermédiaire dans l'échangeur de chaleur où se refroidit l'hydrogène
 - Absence de turbine "chaude" dans le cycle d'azote
 - Cycle de réfrigérants mixtes non-nécessaire dans le cas de liquéfacteur de grande taille
 - Réduction de la taille du cycle de pré-refroidissement
 - Réduction de la consommation des compresseurs grâce aux compressions

cryogéniques (azote et hydrogène/hélium)

- Vaporisation et sur-chauffage du gaz naturel liquéfié jusqu'à température ambiante dans l'échangeur E1
- Utilisation de seulement deux canalisations entre la boîte froide B contenant l'échangeur de chaleur E2 et l'échangeur de chaleur E1, ces canalisations devant transporter un fluide inerte 4, 5
- Utilisation d'un cycle intermédiaire entre le gaz naturel et la boîte froide où se refroidit l'hydrogène pour éviter l'injection directe de gaz naturel ou LNG dans l'échangeur où se refroidit l'hydrogène et ainsi s'affranchir des problèmes de compatibilité des pressions de conceptions, de fuite entre les fluides, le risque de gel,
- L'échangeur E1 où se réchauffe le gaz naturel est sujet à une fatigue accélérée, l'usage de deux échangeurs E1, E2 rend plus simple la maintenance ou changement d'une partie de l'unité E1 si nécessaire ou une technologie d'échangeur différente de celle du E2 et plus adaptée aux conditions opératoires du GNL (échangeur à tube et calandre ou échangeurs à plaques imprimées, en anglais: "Printed Circuit Heat Exchangers (PCHE)")
- Cette disposition permet de valoriser le froid du gaz naturel ou GNL sur plusieurs unités en limitant le nombre d'équipements dans lesquels circule le gaz naturel ou GNL: la distribution du froid est faite par le fluide intermédiaire.

[0032] Le premier échangeur E1 peut se trouver ailleurs que le deuxième échangeur E2, par exemple dans un port.

[0033] Le débit 5 envoyé à l'échangeur de chaleur E2 peut constituer seulement une partie du fluide intermédiaire refroidi dans l'échangeur de chaleur E1. Dans ce cas, une autre partie du fluide intermédiaire refroidi dans le premier échangeur de chaleur E1 est envoyée à un autre deuxième échangeur de chaleur où elle sert à refroidir un autre débit d'hydrogène et un autre premier fluide de cycle avant d'être renvoyée au premier échangeur de chaleur E1.

[0034] Le premier échangeur de chaleur E1 et au moins un des deuxième échangeurs de chaleur E2 peuvent se trouver à au moins 500m, voire au moins 1 km l'un de l'autre.

[0035] La canalisation du fluide intermédiaire 5 aura besoin d'être isolée thermiquement mais la canalisation du fluide intermédiaire 4 est de préférence à une température au-dessus de 0°C et n'a pas besoin d'isolation thermique.

Revendications

[Revendication 1]

Procédé de refroidissement d'un débit d'hydrogène gazeux (1) dans lequel :

- i. Un débit de gaz naturel à moins de -100°C ou un débit de gaz naturel liquéfié (23) se réchauffe, voire se vaporise, dans un premier échangeur de chaleur (E1) par échange de chaleur avec un fluide intermédiaire (4) qui se refroidit
- ii. Le débit d'hydrogène gazeux se refroidit dans un deuxième échangeur de chaleur (E2) de type à plaques et à ailettes par échange de chaleur avec le fluide intermédiaire (5) refroidi dans l'étape i), au moins une partie du fluide intermédiaire arrivant dans le deuxième échangeur de chaleur à une première température T1, le débit d'hydrogène gazeux entrant dans le deuxième échangeur de chaleur à une première extrémité de celui-ci et sortant du deuxième échangeur à une deuxième extrémité de celui-ci
- iii. L'au moins une partie du fluide intermédiaire refroidi dans le deuxième échangeur un premier fluide de cycle comprimé (11) dans au moins un premier compresseur (C3, C4), au moins une partie (13) du premier fluide de cycle sort du deuxième échangeur à une deuxième température T2, est détendue dans une turbine (T) et est envoyée au deuxième échangeur de chaleur à une troisième température T3 inférieure à T2, se réchauffe dans le deuxième échangeur de chaleur jusqu'à une quatrième température T4 supérieure à la troisième température T3 et est envoyée à cette quatrième température à l'entrée de l'au moins un premier compresseur
- iv. L'au moins une partie du fluide intermédiaire se réchauffe dans le deuxième échangeur, sort de la première extrémité de celui-ci et est renvoyée au premier échangeur de chaleur pour se refroidir contre le gaz naturel et
- v. Au moins un deuxième fluide de cycle (6) se réchauffe dans le deuxième échangeur de chaleur, est comprimé dans au moins un deuxième compresseur (C1, C2) ayant une température d'aspiration qui est une cinquième température T5, est envoyé à la première extrémité du deuxième échangeur de chaleur et se refroidit jusqu'à la deuxième extrémité du deuxième

échangeur de chaleur.

- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1 dans lequel le débit de gaz naturel (23) à moins de -100°C ou le débit de gaz naturel liquéfié se réchauffe dans le premier échangeur de chaleur (E1) jusqu'à une température supérieure à 0°C .
- [Revendication 3] Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel au moins une des première, deuxième, troisième, quatrième et cinquième températures est inférieure à -100°C , voire inférieure à -120°C .
- [Revendication 4] Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel la première température T1 est supérieure à la deuxième température T2 et/ou à la quatrième température T4.
- [Revendication 5] Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel la deuxième température T2 est supérieure à -150°C .
- [Revendication 6] Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel une autre partie du fluide intermédiaire refroidi dans le premier échangeur de chaleur est envoyée à un autre deuxième échangeur de chaleur où elle sert à refroidir un autre débit d'hydrogène et un autre premier fluide de cycle avant d'être renvoyée au premier échangeur de chaleur.
- [Revendication 7] Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel le premier échangeur de chaleur et le deuxième échangeur de chaleur sont situés à au moins 500 mètres l'un de l'autre.
- [Revendication 8] Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel le premier échangeur de chaleur (E1) est du type échangeur à tube et calandre ou échangeurs à plaques imprimées.
- [Revendication 9] Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel le premier fluide (11, 13, 15) de cycle est de l'azote ou un réfrigérant mixte.
- [Revendication 10] Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel le deuxième fluide de cycle (6,8,9) est de l'hydrogène et/ou de l'hélium et/ou du néon et/ou un réfrigérant mixte.
- [Revendication 11] Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel le fluide intermédiaire (4,5) est de l'azote ou de l'argon ou du propane.
- [Revendication 12] Procédé selon l'une des revendications précédentes 1 à 10 dans lequel le fluide intermédiaire (4,5) contient entre 40 et 50% mol méthane, entre 0 et 10% mol propane ou propylène, entre 5 et 20% pentane et entre 40 et 50% éthylène ou éthane.

- [Revendication 13] Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel la composition du fluide intermédiaire (4,5) est telle qu'il est en phase dense après refroidissement dans le premier échangeur (E1) et circule au moyen d'une pompe.
- [Revendication 14] Appareil de refroidissement d'un débit d'hydrogène gazeux (1) comprenant un premier échangeur de chaleur (E1), un deuxième échangeur de chaleur de type à plaques et à ailettes (E2), au moins un premier compresseur (C3, C4), au moins un deuxième compresseur (C1, C2), une turbine (T), une conduite pour envoyer un débit de gaz naturel à moins de -100C ou un débit de gaz naturel liquéfié (23) se réchauffer, voire se vaporiser, dans le premier échangeur de chaleur par échange de chaleur avec un fluide intermédiaire (4) qui se refroidit, une conduite pour envoyer le fluide intermédiaire refroidi au deuxième échangeur de chaleur, une conduite pour envoyer le débit d'hydrogène gazeux à une première extrémité du deuxième échangeur de chaleur pour se refroidir dans le deuxième échangeur de chaleur par échange de chaleur avec le fluide intermédiaire refroidi (5) dans l'étape i), au moins une partie du fluide intermédiaire arrivant dans le deuxième échangeur de chaleur à une première température T1, une conduite pour sortir le débit d'hydrogène du deuxième échangeur à une deuxième extrémité de celui-ci, des moyens pour envoyer un premier fluide de cycle comprimé dans l'au moins un premier compresseur au deuxième échangeur de chaleur, une conduite pour sortir au moins une partie du premier fluide de cycle du deuxième échangeur à une deuxième température T2 reliée à la turbine, une conduite pour envoyer le fluide détendu dans la turbine au deuxième échangeur de chaleur à une troisième température T3 inférieure à T2, une conduite pour envoyer le fluide détendu réchauffé dans le deuxième échangeur de chaleur jusqu'à une quatrième température T4 supérieure à la troisième température T3 à l'entrée de l'au moins un premier compresseur, une conduite pour envoyer l'au moins une partie du fluide intermédiaire réchauffé dans le deuxième échangeur de la première extrémité de celui-ci au premier échangeur de chaleur pour se refroidir contre le gaz naturel, une conduite pour envoyer au moins un deuxième fluide de cycle réchauffé dans le deuxième échangeur de chaleur pour être comprimé dans l'au moins un deuxième compresseur ayant une température d'aspiration qui est une cinquième température T5, une conduite pour envoyer le deuxième fluide comprimé de l'au moins un deuxième compresseur jusqu'à la première

extrémité du deuxième échangeur de chaleur et une conduite pour sortir le deuxième fluide refroidi de la deuxième extrémité du deuxième échangeur de chaleur.

