



(11)

EP 4 818 614 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
07.10.2026 Bulletin 2026/41

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
F25J 1/00^(2006.01) F25J 1/02^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **25167964.3**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
**F25J 1/001; F25J 1/005; F25J 1/0052;
F25J 1/0072; F25J 1/0247; F25J 1/0249;
F25J 1/0268; F25J 1/0292; F25J 2210/62;
F25J 2270/904**

(22) Date de dépôt: **02.04.2025**

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

Etats d'extension désignés:

BA

Etats de validation désignés:

GE KH LA MA MD TN

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

- **CHAIX, Jean-Baptiste**
75007 PARIS (FR)
- **GRANADOS, Ludovic**
75007 PARIS (FR)
- **PRASAD, Bhadri**
75007 PARIS (FR)
- **DE CAYEUX, Olivier**
75007 PARIS (FR)

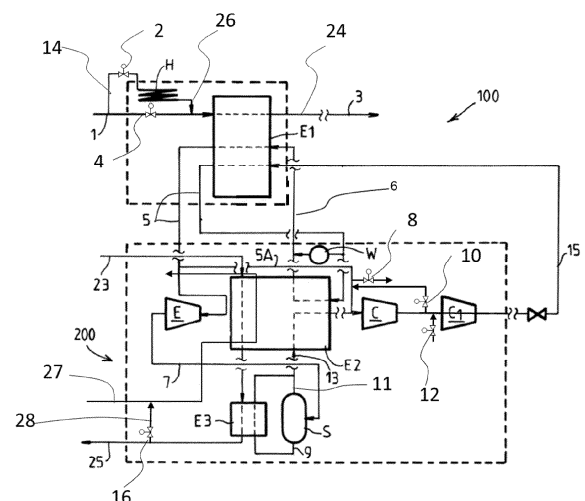
(74) Mandataire: **Air Liquide
L'Air Liquide S.A.
Direction de la Propriété Intellectuelle
75, Quai d'Orsay
75321 Paris Cedex 07 (FR)**

(72) Inventeurs:
• **CARAFA, Antony**
75007 PARIS (FR)

(54) PROCÉDÉ ET INSTALLATION DE REFROIDISSEMENT D HYDROGÈNE

(57) Procédé de refroidissement d'un gaz à refroidir, utilisant une installation de liquéfaction d'hydrogène, le procédé comprenant lors d'une phase de démarrage :
- apport d'un gaz naturel liquéfié (1) à un circuit de gaz naturel,
- vaporisation d'au moins une portion du gaz naturel liquéfié (1) dans un vaporisateur (H) de manière à obtenir un gaz naturel vaporisé (26),
- envoi d'au moins une portion du gaz naturel vaporisé dans un échangeur de chaleur de gaz naturel (E1) de manière à refroidir ledit échangeur de chaleur de gaz naturel (E1),
- démarrage de l'échangeur de chaleur de gaz naturel (E1) refroidi et refroidissement d'un fluide intermédiaire circulant dans un circuit de cycle intermédiaire par échange de chaleur avec le gaz naturel liquéfié (1) dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel (E1) de manière à obtenir un fluide intermédiaire refroidi (5).

[Fig. 1]



Description

[0001] Le domaine de la présente invention est celui d'une installation de liquéfaction d'un gaz à refroidir, notamment d'hydrogène. La présente invention porte également sur un procédé de refroidissement d'un gaz à refroidir, en particulier d'hydrogène.

[0002] L'hydrogène est un vecteur énergétique qui joue un rôle croissant dans la décarbonation de différents secteurs, notamment les transports et l'industrie. La liquéfaction d'hydrogène permet de stocker l'hydrogène et de le transporter sur de longues distances.

[0003] Il est connu de liquéfier l'hydrogène en deux étapes :

- Une première étape de pré-refroidissement de l'hydrogène à une première température dans un circuit de pré-refroidissement utilisant un gaz de cycle tel que de l'azote ou un gaz réfrigérant mixte, suivie de
- Une deuxième étape de refroidissement de l'hydrogène pré-refroidi à une deuxième température inférieure à la première température dans un circuit de refroidissement utilisant un gaz de cycle tel que de l'hydrogène, de l'hélium ou un réfrigérant mixte y compris des gaz rares.

[0004] L'hydrogène à liquéfier circule alors dans un circuit d'hydrogène à refroidir.

[0005] Au cours de l'étape de pré-refroidissement, des échanges de chaleur ont lieu entre le gaz de cycle circulant dans le circuit de pré-refroidissement et le gaz à refroidir du circuit de gaz à refroidir. Ces échanges de chaleur se font dans une boîte froide appelée boîte 80K dans laquelle sont disposés des échangeurs de chaleur pour refroidir le circuit de gaz à refroidir à une température déterminée, notamment à une température de 80 kelvin.

[0006] Il est connu d'utiliser les frigories de gaz naturel liquéfié (LNG) lors de l'étape de pré-refroidissement de l'hydrogène à refroidir de manière à optimiser un tel procédé en le rendant plus efficace. Dans un tel procédé, les frigories du LNG sont transférées à un fluide intermédiaire et in fine au gaz à refroidir. Toutefois, lors des phases transitoires d'opération (par exemple démarrages, trips ou changement de marche) les équipements utilisés dans un tel procédé (notamment échangeurs de chaleur et compresseur) peuvent être sensibles aux fortes variations de température. Les étapes de mise en froid des équipements et circuits permettant le transfert des frigories du LNG sont donc critiques afin d'assurer la pérennité des installations.

[0007] L'objet de l'invention concerne un procédé de refroidissement d'un gaz à refroidir, notamment d'hydrogène, utilisant une installation de liquéfaction d'hydrogène, ledit procédé comprenant lors d'une phase de démarrage de ladite installation :

- apport d'un gaz naturel liquéfié à un circuit de gaz

naturel,

- vaporisation d'au moins une portion du gaz naturel liquéfié dans un vaporisateur de manière à obtenir un gaz naturel vaporisé,
- envoi d'au moins une portion du gaz naturel vaporisé dans un échangeur de chaleur de gaz naturel de manière à refroidir ledit échangeur de chaleur de gaz naturel,
- démarrage de l'échangeur de chaleur de gaz naturel refroidi et refroidissement d'un fluide intermédiaire circulant dans un circuit de cycle intermédiaire par échange de chaleur avec le gaz naturel liquéfié dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel de manière à obtenir un fluide intermédiaire refroidi,
- envoi d'un débit de fluide intermédiaire refroidi dans un compresseur cryogénique à l'arrêt de manière à refroidir ledit compresseur cryogénique, notamment de manière à contrôler la vitesse de refroidissement de l'installation en suivant la température à l'entrée du compresseur, notamment le rythme de refroidissement est de 1°C/min au début jusqu'à -50°C par exemple puis le rythme de refroidissement est prévu plus rapide,
- démarrage du compresseur cryogénique et compression du fluide intermédiaire refroidi dans ledit compresseur cryogénique démarré de manière à obtenir un fluide intermédiaire comprimé,
- envoi du fluide intermédiaire comprimé vers l'échangeur de chaleur de gaz naturel et refroidissement du fluide intermédiaire comprimé dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel pour obtenir un fluide naturel comprimé et refroidi,
- Pré-refroidissement du gaz à refroidir circulant dans un circuit de gaz à refroidir par échange de chaleur entre au moins le fluide intermédiaire comprimé et refroidi et ledit gaz à refroidir dans un échangeur de chaleur de pré-refroidissement.

[0008] Ainsi, le compresseur, l'échangeur de chaleur de gaz naturel et l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement sont refroidis progressivement au démarrage de l'installation de manière à éviter les chocs thermiques. De plus, un tel procédé permet de séquencer le démarrage de ces équipements sensibles aux chocs thermiques et simplifie donc le démarrage de l'installation pour les opérateurs.

[0009] Dans la présente demande, par « phase de démarrage de l'installation de liquéfaction » il est entendu la phase entre la mise en route de l'installation (l'installation étant alors par exemple à température ambiante ou à une température supérieure à -50°C) et le moment auquel la température du gaz à refroidir mesurée en sortie de l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement est à une température prédéterminée comprise entre 60 Kelvin et 90 Kelvin, préférentiellement entre 70 Kelvin et 80 Kelvin.

[0010] Dans un aspect selon l'invention, le débit de fluide intermédiaire refroidi envoyé au compresseur cryo-

génique à l'arrêt est inférieur à 60% du débit de marche normale du compresseur cryogénique.

[0011] Un tel débit de fluide intermédiaire refroidi dans le compresseur cryogénique à l'arrêt, c'est-à-dire dans une situation dans laquelle le compresseur cryogénique n'assure pas la compression, permet de refroidir progressivement ledit compresseur cryogénique. Ceci permet de refroidir progressivement le matériau, par exemple le métal, qui compose le compresseur cryogénique.

[0012] Dans un aspect selon l'invention, le débit de fluide intermédiaire refroidi envoyé au compresseur cryogénique à l'arrêt est au maximum égal à 5% du débit de marche normale du compresseur cryogénique.

[0013] Un tel débit permet de se prémunir contre tout choc thermique pendant le refroidissement progressif du matériau composant le compresseur cryogénique.

[0014] Dans un aspect selon l'invention, la vaporisation d'au moins une portion du gaz naturel liquéfié est réalisée dans un vaporisateur atmosphérique.

[0015] Dans un aspect selon l'invention, le gaz naturel liquéfié est apporté au vaporisateur par une conduite de dérivation du gaz naturel liquéfié, ladite conduite de dérivation du gaz naturel liquéfié étant agencée pour dévier le gaz naturel liquéfié du circuit de gaz naturel pendant la phase de démarrage de l'installation.

[0016] Le gaz naturel liquéfié est un fluide cryogénique qui pourrait endommager l'échangeur de chaleur de gaz naturel liquéfié sans refroidissement préalable dudit échangeur. Le vaporisateur permet de vaporiser le gaz naturel liquéfié, sans le surchauffer avant son entrée dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel et donc de refroidir progressivement l'échangeur de chaleur de gaz naturel tout en évitant une vaporisation brutale du gaz naturel dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel, ce qui pourrait l'endommager par fatigue thermique.

[0017] Dans un aspect selon l'invention, le procédé comprend une étape de contrôle du débit de la portion de gaz naturel liquéfié envoyé au vaporisateur. De cette manière, l'échangeur de chaleur du gaz naturel est protégé des variations de température.

[0018] Dans un aspect de l'invention, le contrôle du débit de la portion de gaz naturel envoyé au vaporisateur est opéré par au moins un organe de contrôle de détournement du gaz naturel liquéfié agencé pour contrôler le débit de gaz naturel liquéfié envoyé au vaporisateur, ledit organe de contrôle étant agencé sur la conduite de dérivation en amont du vaporisateur.

[0019] Dans un aspect de l'invention, lorsque l'organe de contrôle de détournement du gaz naturel liquéfié est en position d'ouverture, au moins une portion du gaz naturel liquéfié est envoyée au vaporisateur selon un débit compris entre 5% et 50 % du débit de gaz naturel liquéfié, et lorsque l'organe de contrôle de détournement du gaz naturel liquéfié est en position de fermeture, il empêche l'envoi du gaz naturel liquéfié dans le vaporisateur.

[0020] Dans un aspect de l'invention, le procédé comprend une étape de contrôle du débit de gaz naturel

liquéfié envoyé à l'échangeur de chaleur de gaz naturel.

[0021] Dans un aspect de l'invention, ladite étape de contrôle du débit de gaz naturel liquéfié envoyé à l'échangeur de chaleur de gaz naturel est opérée par un organe de contrôle du débit de gaz naturel liquéfié agencé sur le circuit de gaz naturel en amont de l'échangeur de chaleur de gaz naturel.

[0022] Dans un aspect de l'invention, l'organe de contrôle de détournement du gaz naturel liquéfié et/ou l'organe de contrôle de débit de gaz naturel liquéfié est une vanne de type contrôle ou une vanne équipée d'un positionneur. D'une manière générale, tout type de vanne qui permet de choisir le pourcentage d'ouverture peut être utilisé.

[0023] Dans un aspect de l'invention, l'échangeur de chaleur de gaz naturel présente une température de fonctionnement, notamment une température de fonctionnement comprise entre -150°C et 30°C. Par exemple, le bout froid de l'échangeur de chaleur en régime continu est à -150°C et son bout chaud à température ambiante.

[0024] Par « température de fonctionnement », on entend ici la température à laquelle un équipement est qualifié pour fonctionner sans risque d'être endommagé notamment par un choc thermique. La température de fonctionnement dépend des spécifications de l'équipement.

[0025] L'invention vise notamment à descendre en température progressivement jusqu'aux températures nominales de l'échangeur. Par exemple, au début tout est à température ambiante et il faut descendre progressivement en froid à la vitesse maximale de 1°C/min pour éviter les chocs thermiques. Ce ne serait pas possible si on envoyait directement le liquide LNG qui est à -150°C dans l'échangeur directement même avec un petit débit car on provoquerait localement de fortes contraintes thermiques.

[0026] Dans un aspect selon l'invention, le débit de gaz naturel envoyé à l'échangeur de chaleur de gaz naturel liquéfié est fonction de la température du gaz naturel liquéfié ou du mélange de gaz naturel liquéfié et du gaz naturel vaporisé mesurée à l'entrée de l'échangeur de chaleur de gaz naturel. Avantagusement, l'invention permet d'assurer un contrôle de la température pour que celle-ci descende progressivement à la vitesse de 1°C/min maximum.

[0027] Dans un aspect de l'invention, la température de l'échangeur de chaleur de gaz naturel est sensiblement la même que la température du gaz naturel liquéfié ou du mélange de gaz naturel liquéfié et du gaz naturel vaporisé à l'entrée dudit échangeur de chaleur.

[0028] Dans un aspect de l'invention, la température de fonctionnement de l'échangeur de chaleur de gaz naturel est atteinte lorsque la température du gaz naturel liquéfié ou du mélange de gaz naturel liquéfié et de gaz naturel vaporisé atteint la température de fonctionnement dudit échangeur de chaleur de gaz naturel.

[0029] Dans un aspect de l'invention, lorsque la température de fonctionnement de l'échangeur de chaleur

de gaz naturel est atteinte, le procédé comprend une étape de fermeture de l'organe de contrôle de détournement de gaz naturel liquéfié de manière à empêcher la vaporisation du gaz naturel liquéfié dans le vaporisateur, et une étape d'ouverture de l'organe de contrôle du débit de gaz naturel liquéfié de manière à laisser passer le débit de gaz naturel liquéfié dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel.

[0030] Dans un aspect de l'invention, la fermeture de l'organe de contrôle de détournement et l'ouverture de l'organe de contrôle du débit de gaz naturel liquéfié sont progressives.

[0031] Dans un aspect de l'invention, tant que la température de fonctionnement de l'échangeur de chaleur de gaz naturel n'est pas atteinte, du gaz naturel vaporisé est envoyé à l'échangeur de chaleur de gaz naturel.

[0032] Dans un aspect de l'invention, le refroidissement de l'échangeur de chaleur de gaz naturel s'opère de manière suivante :

1. Ouverture de l'organe de contrôle de détournement du gaz naturel liquéfié, vaporisation d'une portion du gaz naturel liquéfié dans le vaporisateur et fermeture de l'organe de contrôle du débit de gaz naturel liquéfié de manière à envoyer à l'échangeur de chaleur de gaz naturel uniquement du gaz naturel vaporisé,
2. Ouverture de l'organe de contrôle du débit de gaz naturel liquéfié, mélange du gaz naturel liquéfié et du gaz naturel vaporisé en amont de l'échangeur de chaleur de gaz naturel, envoi du mélange de gaz naturel vaporisé et du gaz naturel liquéfié dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel,
3. Lorsque la température de fonctionnement de l'échangeur de gaz naturel est atteinte, fermeture de l'organe de contrôle de détournement du gaz naturel liquéfié de manière et ouverture totale de l'organe de contrôle du débit de gaz naturel liquéfié de manière à envoyer seulement du gaz naturel liquéfié dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel.

[0033] Dans un aspect de l'invention, une fois que l'échangeur de gaz naturel atteint sa température de fonctionnement, ledit échangeur de gaz naturel est démarré.

[0034] Dans un aspect de l'invention, lorsque l'échangeur de chaleur de gaz naturel atteint sa température de fonctionnement, le procédé comprend une étape de refroidissement du fluide intermédiaire par échange thermique entre le gaz naturel liquéfié et ledit fluide intermédiaire dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel démarré. On obtient ainsi un fluide intermédiaire refroidi.

[0035] Dans un aspect de l'invention, lors de la phase de démarrage, le fluide intermédiaire refroidi dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel est envoyé vers le compresseur cryogénique avant d'être envoyé à l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement.

[0036] Dans un aspect de l'invention, le compresseur

cryogénique présente une température de fonctionnement, notamment une température de fonctionnement comprise entre -150°C et -100°C à l'aspiration du compresseur en marche normale. Pour le démarrage, on est de préférence entre -50°C et -70°C.

[0037] Dans un aspect de l'invention, le fluide intermédiaire refroidi en sortie de l'échangeur de chaleur de gaz naturel est détourné de l'échangeur de pré-refroidissement par une conduite de dérivation du fluide intermédiaire refroidi pour être envoyé en amont du compresseur cryogénique sans passer par ledit échangeur de chaleur de pré-refroidissement.

[0038] Dans un aspect de l'invention, le procédé comprend une étape de contrôle du débit de fluide intermédiaire envoyé au compresseur cryogénique.

[0039] Dans un aspect de l'invention, l'étape de contrôle du débit de fluide intermédiaire envoyée au compresseur cryogénique est opérée par au moins un organe de contrôle de débit du fluide intermédiaire refroidi.

[0040] Dans un aspect selon l'invention, l'organe de contrôle du débit de fluide intermédiaire refroidi comprenant au moins une vanne d'évacuation dudit fluide intermédiaire refroidi.

[0041] Dans un aspect de l'invention, l'organe de contrôle du débit de fluide intermédiaire comprend deux vannes d'évacuation du fluide intermédiaire, l'une disposée en amont du compresseur cryogénique et l'autre disposée en aval du compresseur cryogénique.

[0042] Dans un aspect de l'invention, le procédé comprend une étape de mesure de la température du fluide intermédiaire refroidi à l'entrée du compresseur cryogénique.

[0043] Dans un aspect de l'invention, la température du compresseur cryogénique correspond à la température du fluide intermédiaire refroidi mesurée à l'entrée dudit compresseur cryogénique.

[0044] Dans un aspect selon l'invention, les vannes d'évacuation du fluide intermédiaire refroidi sont disposées en amont et en aval du compresseur cryogénique et sont agencées pour contrôler le débit de fluide intermédiaire refroidi envoyé au compresseur cryogénique en fonction de la température du compresseur cryogénique.

[0045] Dans un aspect selon l'invention, le débit de fluide intermédiaire refroidi envoyé au compresseur cryogénique à l'arrêt est inférieur à 60% du débit de marche normale du compresseur cryogénique. Un faible débit de fluide intermédiaire refroidi dans le compresseur cryogénique permet de refroidir progressivement ledit compresseur cryogénique. De préférence, dans la situation où le compresseur est à l'arrêt (à savoir le compresseur n'assure pas la compression), on laisse traverser dans le compresseur seulement un débit maximal de 5% du débit nominal (débit de marche normal du compresseur cryogénique), pour ne pas entraîner les roues du compresseur avec une vitesse importante. On cherche en effet à refroidir progressivement le métal qui compose le compresseur.

[0046] Par compresseur cryogénique « à l'arrêt », on entend ici un compresseur cryogénique qui n'est pas démarré et donc qui ne comprime par le fluide qui le traverse.

[0047] Dans un aspect de l'invention, le fluide intermédiaire refroidi qui n'est pas envoyé au compresseur cryogénique en amont dudit compresseur cryogénique est évacué du circuit de cycle intermédiaire, notamment dans l'atmosphère.

[0048] Dans un aspect de l'invention, le compresseur cryogénique est agencé sur le circuit de cycle intermédiaire.

[0049] Dans un aspect de l'invention, au moins une vanne d'évacuation du fluide intermédiaire refroidi, notamment la vanne d'évacuation dudit fluide intermédiaire refroidi disposé en amont du compresseur cryogénique, est agencée pour envoyer au compresseur un débit de fluide intermédiaire refroidi inférieur à 60%, de préférence inférieur à 50%, de préférence inférieur à 40% (ou à une valeur encore inférieure) du débit de marche normal du compresseur cryogénique. Cette vanne permet notamment de refroidir une tuyauterie d'interconnexion entre un apport de gaz naturel (notamment une unité de stockage de gaz naturel) et l'entrée du compresseur, tuyauterie qui peut, dans certains cas, être très longue, par exemple d'une longueur d'environ 1.5 km. L'opération de mise en froid de cette tuyauterie d'interconnexion est donc primordiale. Toutefois, il convient de ne pas envoyer au compresseur qui est à l'arrêt, un grand débit de fluide froid. Dans la situation où le compresseur est à l'arrêt (à savoir le compresseur n'assure pas la compression), on laisse traverser dans le compresseur seulement un débit maximal de 5% du débit nominal (débit de marche normal du compresseur cryogénique), pour ne pas entraîner les roues du compresseur avec une vitesse importante. On cherche en effet à refroidir progressivement le métal qui compose le compresseur.

[0050] Dans un aspect de l'invention, le fluide intermédiaire refroidi après avoir circulé dans le compresseur cryogénique à l'arrêt est au moins en partie renvoyé en amont dudit compresseur cryogénique, par exemple par la vanne d'évacuation disposée en aval du compresseur cryogénique, de sorte à isoler ledit compresseur cryogénique dans un circuit fermé lorsque celui-ci est à l'arrêt, autrement dit tant que sa température de fonctionnement n'est pas atteinte. Dans cette situation, il convient de s'assurer que le débit de fluide qu'on laisse circuler dans le compresseur à l'arrêt ne dépasse pas 5% du débit nominale (débit de marche normal du compresseur cryogénique).

[0051] Ainsi, les vannes d'évacuation permettent de faire passer un léger débit de fluide intermédiaire refroidi à travers le compresseur cryogénique lors de la phase de démarrage de l'installation de liquéfaction lorsque le compresseur n'est pas encore démarré, de sorte que la vitesse de refroidissement du compresseur cryogénique est contrôlée jusqu'à ce qu'il atteigne sa température de fonctionnement.

[0052] Dans un aspect selon l'invention, lors de l'étape de refroidissement du compresseur, tant que la température du compresseur est supérieure à la température de fonctionnement dudit compresseur, au moins une vanne d'évacuation, notamment au moins la vanne d'évacuation en amont du compresseur cryogénique, est au moins partiellement ouverte de sorte qu'au moins une partie du fluide intermédiaire refroidi est évacué.

[0053] De préférence, lors de l'étape de refroidissement du compresseur cryogénique, tant que la température du compresseur cryogénique est supérieure à la température de fonctionnement dudit compresseur cryogénique, les deux vannes d'évacuation du fluide intermédiaire refroidi, c'est à dire la vanne d'évacuation en amont du compresseur cryogénique et la vanne d'évacuation en aval du compresseur cryogénique, sont au moins partiellement ouvertes.

[0054] Dans l'invention, avantageusement, on contrôle la vitesse de refroidissement de l'installation en suivant la température à l'entrée du compresseur (notamment le rythme de refroidissement est de 1°C/min au début jusqu'à -50°C) et ensuite le rythme de refroidissement peut être substantiellement plus rapide.

[0055] Dans un aspect de l'invention, le procédé comprend une étape d'apport de fluide intermédiaire en aval du compresseur cryogénique lorsque les vannes d'évacuation sont au moins partiellement ouvertes. Ainsi, il est possible de conserver un taux de fluide intermédiaire stable dans le circuit de fluide intermédiaire.

[0056] Dans un aspect selon l'invention, lorsque le compresseur cryogénique atteint sa température de fonctionnement, le procédé comprend une étape de démarrage du compresseur cryogénique. Le fluide intermédiaire refroidi peut être comprimé dans le compresseur.

[0057] Dans un aspect de l'invention, lorsque le compresseur cryogénique est démarré, il comprime le fluide intermédiaire refroidi de manière à obtenir le fluide intermédiaire comprimé.

[0058] Dans un aspect de l'invention, lorsque le compresseur cryogénique est démarré, les vannes d'évacuation du fluide intermédiaire sont fermées de telle sorte que le fluide intermédiaire refroidi n'est pas évacué et circule dans le compresseur pour y être comprimé.

[0059] Dans un aspect selon l'invention, lors de l'étape de démarrage du compresseur cryogénique, l'au moins une vanne d'évacuation de fluide intermédiaire refroidi disposée en amont du compresseur cryogénique est progressivement fermée de sorte que le débit de fluide intermédiaire refroidi passant dans le compresseur cryogénique est de plus en plus élevé.

[0060] Dans un aspect selon l'invention, lorsque le compresseur cryogénique est démarré le débit de fluide intermédiaire refroidi circulant dans le compresseur cryogénique est supérieur à 60% du débit de marche normal du compresseur, de préférence supérieur à 80% du débit de marche normal du compresseur, de préférence égal à

100% du débit de marche normal du compresseur.

[0061] Dans un aspect de l'invention, le contrôle de débit de fluide intermédiaire refroidi est réalisé de telle sorte que la température de fluide intermédiaire mesurée à l'entrée du compresseur cryogénique diminue d'une température d'environ 1°C par minute. Autrement dit, les vannes d'évacuation du fluide intermédiaire refroidi sont agencées de sorte que le débit de fluide intermédiaire refroidi envoyé dans le compresseur cryogénique fasse diminuer la température mesurée à l'entrée du compresseur cryogénique de 1°C par minute. Ce premier rythme de refroidissement (par exemple d'environ 1°C par minute) est maintenu jusqu'à atteindre une température prédéterminée, par exemple de -50°C. Puis, au-delà de cette température prédéterminée, le refroidissement se fait à un second rythme de refroidissement, plus rapide que le premier rythme de refroidissement, par exemple pour descendre de 50°C à 100°C en dessous de la température prédéterminée.

[0062] Dans un aspect selon l'invention, une fois que le compresseur cryogénique atteint sa température de fonctionnement, il est démarré et le fluide intermédiaire refroidi est envoyé audit compresseur cryogénique en fonctionnement jusqu'à ce que 100% du débit de fluide intermédiaire refroidi soit envoyé audit compresseur cryogénique pour y être comprimé.

[0063] Dans un aspect de l'invention, lors de la phase de démarrage de l'installation, le fluide intermédiaire est d'abord refroidi dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel, puis comprimé dans le compresseur cryogénique, puis renvoyé dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel sans circuler dans l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement.

[0064] Dans un aspect de l'invention, lors de la phase de démarrage de l'installation, le procédé comprend une étape de chauffage du fluide intermédiaire refroidi dans un échangeur de chaleur de démarrage.

[0065] Dans un aspect de l'invention, l'étape de chauffage du fluide intermédiaire refroidi s'opère par échange de chaleur entre ledit fluide intermédiaire refroidi et un fluide caloporteur plus chaud dans l'échangeur de chaleur de démarrage. Par exemple, l'étape de chauffage du fluide intermédiaire refroidi s'opère par échange de chaleur entre ledit fluide intermédiaire refroidi et de l'eau dans un échangeur de chaleur à eau.

[0066] L'échangeur de chaleur de démarrage peut être utilisé uniquement pendant le démarrage pour remplacer l'apport de chaleur de l'échangeur de pré-refroidissement.

[0067] Dans un aspect de l'invention, l'échangeur de chaleur de démarrage sera court-circuité en opération stable du procédé.

[0068] Une telle étape de chauffage du fluide intermédiaire permet de consommer les frigories du gaz naturel liquéfié transmises au fluide intermédiaire de manière à conserver une température stable de fluide intermédiaire en attendant que l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement soit mis en route.

[0069] Dans un aspect de l'invention, le fluide intermédiaire refroidi est envoyé audit échangeur de chaleur de démarrage puis une fois réchauffé ledit fluide intermédiaire réchauffé est renvoyé à l'échangeur de chaleur de gaz naturel pour y être refroidi à nouveau.

[0070] Dans un aspect de l'invention, une fois que l'échangeur de chaleur de gaz naturel est démarré puis que le compresseur cryogénique est démarré, le procédé comprend une étape de refroidissement de l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement.

[0071] Dans un aspect de l'invention, l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement présente une température de fonctionnement.

[0072] Dans un aspect de l'invention, l'étape de refroidissement de l'échangeur de pré-refroidissement est opérée par :

1. Échange de chaleur entre le fluide intermédiaire comprimé et refroidi dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel et un fluide caloporteur secondaire plus chaud que ledit fluide intermédiaire dans l'échangeur de pré-refroidissement,
2. Lorsque la température du gaz à refroidir en sortie du circuit de gaz à refroidir se rapproche de la température du fluide intermédiaire refroidi à l'entrée de l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement, diminution progressive du débit de fluide intermédiaire comprimé et refroidi envoyé dans l'échangeur de chaleur de démarrage et augmentation progressive du débit de fluide intermédiaire comprimé et refroidi envoyé dans l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement, et
3. Démarrage d'un organe de détente agencé pour détendre le fluide intermédiaire refroidi et comprimé en amont de l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement, ledit organe de détente étant notamment une turbine de refroidissement booster configurée pour détendre le fluide intermédiaire comprimé et refroidi.

[0073] Dans un aspect de l'invention, l'organe de détente est agencé dans le circuit de cycle intermédiaire en aval du compresseur dans le sens de circulation du fluide intermédiaire. Le fait de comprimer et détendre le fluide intermédiaire refroidi permet d'optimiser le refroidissement de l'échangeur du pré-refroidissement et donc d'optimiser le pré-refroidissement du gaz à refroidir.

[0074] Dans un aspect de l'invention, une fois que l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement atteint sa température de fonctionnement, il est démarré.

[0075] Dans un aspect de l'invention, le fluide caloporteur secondaire comprend une portion du gaz à refroidir en sortie de l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement.

[0076] Dans un aspect de l'invention, ladite portion de gaz à refroidir en sortie de l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement est envoyée vers un circuit de fluide caloporteur secondaire par un conduit de détournement

du circuit de gaz à refroidir.

[0077] Dans un aspect de l'invention, une fois que l'échangeur de chaleur de gaz naturel, le compresseur cryogénique et l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement sont à leur température de fonctionnement, l'installation est démarrée et fonctionne dans un mode stable.

[0078] Dans un aspect selon l'invention, l'échangeur de chaleur du gaz naturel est un échangeur en aluminium brasé à plaques et à ailettes (BAHX), ou un échangeur en acier inoxydable, ou un échangeur à circuits imprimés, ou un échangeur à tubes et à calandre.

[0079] Dans un aspect selon l'invention, l'échangeur de pré-refroidissement est agencé dans une première boîte froide appelée boîte 80K.

[0080] Dans un aspect de l'invention, lorsque l'installation fonctionne dans un mode stable, le procédé comprend les étapes suivantes :

- L'échangeur de chaleur de gaz naturel récupère les frigories du gaz naturel liquéfié en utilisant le fluide intermédiaire qui est refroidi par le gaz naturel liquéfié dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel,
- Le fluide intermédiaire réchauffé entre ensuite dans l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement agencé pour échanger les frigories dudit fluide intermédiaire réchauffé et du gaz à refroidir,
- Le fluide intermédiaire réchauffé est comprimé dans le compresseur cryogénique, le débit de fluide intermédiaire réchauffé qui traverse le compresseur cryogénique pour y être comprimé étant supérieur à 60% du débit molaire nominal, de préférence supérieur à 80% du débit molaire nominal, de préférence de 100% du débit molaire nominal,
- le fluide intermédiaire comprimé est envoyé à l'échangeur de chaleur de gaz naturel et s'y refroidit jusqu'à une température inférieure à 90°C, par exemple -140°C, formant un fluide intermédiaire refroidi qui est envoyé à l'échangeur de pré-refroidissement à une température de -140°C,
- le fluide intermédiaire refroidi se réchauffe alors dans l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement puis est refroidi à nouveau dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel pour former le fluide intermédiaire,
- Le fluide intermédiaire rentre dans une turbine à la température à laquelle il sort de l'échangeur de chaleur de gaz naturel, la turbine étant agencée pour détendre le fluide intermédiaire et obtenir un fluide intermédiaire détendu,
- Le fluide intermédiaire détendu est diphasique et est envoyé à un séparateur de phases où il forme un liquide et un gaz,
- Le liquide est vaporisé dans un réchauffeur et rejoint le gaz pour se réchauffer dans le deuxième échangeur constituant le débit à envoyer au compresseur froid. Tout le gaz est comprimé dans le compresseur froid et ensuite dans un surpresseur couplé à la turbine. C'est le gaz comprimé dans le surpresseur

qui est envoyé à l'échangeur pour récupérer le froid.

[0081] Ainsi le fluide intermédiaire circule dans un cycle fermé, prenant des frigories du gaz naturel liquéfié.

[0082] Le gaz à refroidir, par exemple l'hydrogène gazeux qui est à température ambiante, par exemple 20°C, rentre au bout chaud de l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement qu'il parcourt d'un bout à l'autre pour se refroidir jusqu'à une température inférieure à -150°C, par exemple -180°C. Il est ensuite refroidi dans le réchauffeur contre le liquide du séparateur de phases pour former le gaz refroidi à -190°C.

[0083] Le gaz refroidi est ensuite refroidi et liquéfié dans un autre échangeur de chaleur de manière connue. Un cycle d'hydrogène, d'hélium ou de réfrigérants mixtes y compris des gaz rares fournit les frigories nécessaires.

[0084] Ainsi le gaz naturel liquéfié fournit au moins une partie des frigories nécessaires pour le pré-refroidissement de l'hydrogène gazeux jusqu'à -190°C. Cette fraction peut être au moins 50%, au moins 75% ou au moins 99% des frigories nécessaires pour le refroidissement de l'hydrogène gazeux jusqu'à -190°C.

[0085] L'objet de l'invention concerne encore une installation de production d'un gaz à refroidir, notamment d'un fluide cryogénique, en particulier de l'hydrogène liquéfié, comprenant :

- un circuit de gaz à refroidir ayant une extrémité amont destinée à être reliée à une source de gaz et une extrémité aval destinée à être reliée à au moins un système receveur, tel qu'un stockage cryogénique et/ou un moyen de transport,
- un circuit de gaz naturel dans lequel circule un gaz naturel, notamment un gaz naturel liquéfié,
- un échangeur de chaleur de gaz naturel agencé pour échanger la chaleur du gaz naturel liquéfié avec un fluide intermédiaire circulant au sein d'un circuit de cycle intermédiaire,
- au moins un compresseur cryogénique agencé pour, lors d'une phase de démarrage de l'installation, comprimer le fluide intermédiaire refroidi,
- au moins un élément de contrôle du débit de fluide intermédiaire disposé en amont et/ou en aval du compresseur cryogénique, ledit élément de contrôle étant agencé pour, lors de la phase de démarrage de l'installation, contrôler le débit de fluide intermédiaire refroidi en provenance de l'échangeur de chaleur de gaz naturel pouvant circuler dans le compresseur cryogénique lorsque celui-ci est à l'arrêt,
- au moins un échangeur de chaleur de pré-refroidissement agencé pour échanger de la chaleur entre au moins le fluide intermédiaire refroidi et le gaz à refroidir.

[0086] Dans un aspect selon l'invention, l'installation est agencée pour mettre en œuvre le procédé décrit ci-dessus.

[0087] Dans un aspect selon l'invention, l'installation

comporte une unité de commande par exemple un microprocesseur ou un microcontrôleur, agencée pour mettre en œuvre le procédé décrit ci-dessus

[0088] Dans un aspect de l'invention, l'installation comprend un vaporisateur agencé pour vaporiser une portion du gaz naturel liquéfié, ledit vaporisateur étant par exemple disposé en amont de l'échangeur de chaleur de gaz naturel.

[0089] Dans un aspect de l'invention, l'installation comprend une conduite de dérivation du gaz naturel liquéfié agencée pour dévier le gaz naturel liquéfié du circuit de gaz naturel pendant la phase de démarrage de l'installation.

[0090] Dans un aspect de l'invention, le vaporisateur est agencé sur ladite conduite de dérivation du gaz naturel liquéfié.

[0091] Dans un aspect de l'invention, l'installation comprend au moins un organe de détournement du gaz naturel liquéfié agencé pour contrôler le débit de gaz naturel liquéfié envoyé au vaporisateur de gaz naturel, ledit organe de contrôle étant agencé sur la conduite de dérivation en amont du vaporisateur.

[0092] Dans un aspect de l'invention, l'installation comprend un organe de contrôle du débit de gaz naturel liquéfié agencé sur le circuit de gaz naturel en amont de l'échangeur de chaleur de gaz naturel.

[0093] Dans un aspect de l'invention, l'organe de contrôle de détournement du gaz naturel liquéfié est agencé pour, en position d'ouverture, envoyer à l'échangeur de chaleur de gaz naturel débit de gaz naturel vaporisé.

[0094] Dans un aspect de l'invention, l'organe de contrôle du débit de gaz naturel liquéfié est agencé pour, en position d'ouverture, envoyer un débit de gaz naturel liquéfié à l'échangeur de chaleur de gaz naturel.

[0095] Dans un aspect de l'invention, le vaporisateur est un vaporisateur atmosphérique.

[0096] Dans un aspect de l'invention, l'organe de contrôle de détournement du gaz naturel liquéfié est agencé pour envoyer un débit de gaz naturel vaporisé au vaporisateur en fonction de la température de l'échangeur de chaleur de gaz naturel.

[0097] Dans un aspect de l'invention, l'organe de contrôle de débit du gaz naturel liquéfié est agencé pour envoyer un débit de gaz naturel liquéfié à l'échangeur de chaleur en fonction de la température de l'échangeur de chaleur de gaz naturel.

[0098] Dans un aspect de l'invention, la température de fonctionnement de l'échangeur de chaleur de gaz naturel est atteinte lorsque la température du gaz naturel liquéfié ou du mélange de gaz naturel liquéfié et de gaz naturel vaporisé atteint la température de fonctionnement dudit échangeur de chaleur de gaz naturel.

[0099] Dans un aspect de l'invention, lorsque la température de fonctionnement de l'échangeur de chaleur de gaz naturel est atteinte, l'organe de contrôle de détournement de gaz naturel liquéfié est agencé pour empêcher la vaporisation du gaz naturel liquéfié dans le

vaporisateur, et l'organe de contrôle du débit de gaz naturel liquéfié est agencé pour laisser passer le débit de gaz naturel liquéfié dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel.

[0100] Dans un aspect de l'invention, une fois que l'échangeur de gaz naturel atteint sa température de fonctionnement, ledit échangeur de gaz naturel est démarré.

[0101] Dans un aspect de l'invention, lorsque l'échangeur de chaleur de gaz naturel atteint sa température de fonctionnement, il est agencé pour refroidir le fluide intermédiaire par échange thermique entre le gaz naturel liquéfié et ledit fluide intermédiaire dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel. On obtient ainsi un fluide intermédiaire refroidi.

[0102] Dans un aspect de l'invention, le compresseur cryogénique est agencé pour recevoir le fluide intermédiaire refroidi.

[0103] Dans un aspect de l'invention, le compresseur cryogénique présente une température de fonctionnement, notamment une température de fonctionnement comprise entre -150°C et -100°C.

[0104] Dans un aspect de l'invention, l'installation comprend une conduite de dérivation du fluide intermédiaire refroidi agencée pour détourner le fluide intermédiaire refroidi de l'échangeur de pré-refroidissement par une conduite de dérivation du fluide intermédiaire refroidi et pour envoyer ledit fluide intermédiaire refroidi en amont du compresseur cryogénique.

[0105] Dans un aspect de l'invention, l'organe de contrôle du débit de fluide intermédiaire comprend deux vannes d'évacuation du fluide intermédiaire, l'une disposée en amont du compresseur cryogénique et l'autre disposée en aval du compresseur cryogénique.

[0106] Dans un aspect de l'invention, le procédé comprend un appareil de mesure de la température du fluide intermédiaire refroidi, ledit appareil de mesure étant disposé à l'entrée du compresseur cryogénique.

[0107] Dans un aspect de l'invention, la température du compresseur cryogénique correspond à la température du fluide intermédiaire refroidi mesurée à l'entrée dudit compresseur cryogénique.

[0108] Dans un aspect selon l'invention, les vannes d'évacuation du fluide intermédiaire refroidi sont disposées en amont et en aval du compresseur cryogénique et sont agencées pour contrôler le débit de fluide intermédiaire refroidi envoyé au compresseur cryogénique en fonction de la température du compresseur cryogénique.

[0109] Dans un aspect selon l'invention, le débit de fluide intermédiaire refroidi envoyé au compresseur cryogénique à l'arrêt est inférieur à 60%, par exemple d'environ 5%, du débit de marche normale du compresseur cryogénique. Un faible débit de fluide intermédiaire refroidi dans le compresseur cryogénique permet de refroidir progressivement ledit compresseur cryogénique.

[0110] Par compresseur cryogénique « à l'arrêt », on entend ici un compresseur cryogénique qui n'est pas démarré et donc qui ne comprime par le fluide qui le

traverse.

[0111] Dans un aspect de l'invention, les vannes d'évacuations sont agencées pour, en position d'ouverture, envoyer le fluide intermédiaire refroidi, en dehors du circuit de fluide intermédiaire.

[0112] Dans un aspect de l'invention, les vannes d'évacuations sont agencées pour, en position d'ouverture, envoyer le fluide intermédiaire refroidi dans l'atmosphère.

[0113] Dans un aspect de l'invention, au moins une vanne d'évacuation du fluide intermédiaire refroidi, notamment la vanne d'évacuation dudit fluide intermédiaire refroidi disposé en amont du compresseur cryogénique, est agencée pour envoyer au compresseur un débit de fluide intermédiaire.

[0114] Ainsi, les vannes d'évacuation permettent de faire passer un léger débit de fluide intermédiaire refroidi à travers le compresseur cryogénique lors de la phase de démarrage de l'installation de liquéfaction lorsque le compresseur n'est pas encore démarré, de sorte que la vitesse de refroidissement du compresseur cryogénique est contrôlée jusqu'à ce qu'il atteigne sa température de fonctionnement.

[0115] De préférence, lors de l'étape de refroidissement du compresseur cryogénique, tant que la température du compresseur cryogénique est supérieure à la température de fonctionnement dudit compresseur cryogénique, les deux vannes d'évacuation du fluide intermédiaire refroidi, c'est à dire la vanne d'évacuation en amont du compresseur cryogénique et la vanne d'évacuation en aval du compresseur cryogénique, sont au moins partiellement ouvertes.

[0116] Dans un aspect de l'invention, l'installation comprend un conduit d'apport de fluide intermédiaire en aval du compresseur cryogénique, ledit conduit étant agencé pour apporter du fluide intermédiaire en aval du compresseur cryogénique lorsque les vannes d'évacuation sont au moins partiellement ouvertes. Ainsi, il est possible de conserver un taux de fluide intermédiaire stable dans le circuit de fluide intermédiaire.

[0117] Dans un aspect selon l'invention, lorsque le compresseur cryogénique atteint sa température de fonctionnement, le compresseur cryogénique est agencé pour être démarré. Le fluide intermédiaire refroidi peut être comprimé dans le compresseur.

[0118] Dans un aspect de l'invention, lorsque le compresseur cryogénique est démarré, il est agencé pour comprimer le fluide intermédiaire refroidi de manière à obtenir le fluide intermédiaire comprimé.

[0119] Dans un aspect de l'invention, lorsque le compresseur cryogénique est démarré, les vannes d'évacuation du fluide intermédiaire sont en position de fermeture de telle sorte que le fluide intermédiaire refroidi n'est pas évacué et circule dans le compresseur pour y être comprimé.

[0120] Dans un aspect selon l'invention, lors de l'étape de démarrage du compresseur cryogénique, l'au moins une vanne d'évacuation de fluide intermédiaire refroidi

disposée en amont du compresseur cryogénique est agencée pour être progressivement fermée de sorte que le débit de fluide intermédiaire refroidi passant dans le compresseur cryogénique est de plus en plus élevé.

[0121] Dans un aspect selon l'invention, lorsque le compresseur cryogénique l'organe de contrôle du débit de fluide intermédiaire est agencé pour laisser passer dans le compresseur cryogénique un débit de fluide intermédiaire refroidi supérieur à 60% du débit de marche normal du compresseur, de préférence supérieur à 80% du débit de marche normal du compresseur, de préférence égal à 100% du débit de marche normal du compresseur.

[0122] Dans un aspect de l'invention, l'organe de contrôle du débit de fluide intermédiaire refroidi est agencé pour contrôler le débit de fluide intermédiaire refroidi de telle sorte que la température de fluide intermédiaire mesurée à l'entrée du compresseur cryogénique diminue d'une température d'environ 1°C par minute. Autrement dit, les vannes d'évacuation du fluide intermédiaire refroidi sont agencées de sorte que le débit de fluide intermédiaire refroidi envoyé dans le compresseur cryogénique fasse diminuer la température mesurée à l'entrée du compresseur cryogénique de 1°C par minute. Ce premier rythme de refroidissement (par exemple d'environ 1°C par minute) est maintenu jusqu'à atteindre une température prédéterminée, par exemple de -50°C. Puis, au-delà de cette température prédéterminée, le refroidissement se fait à un second rythme de refroidissement, plus rapide que le premier rythme de refroidissement, par exemple pour descendre de 50°C à 100°C en dessous de la température prédéterminée.

[0123] Dans un aspect selon l'invention, une fois que le compresseur cryogénique atteint sa température de fonctionnement, il est démarré et le fluide intermédiaire refroidi est envoyé audit compresseur cryogénique en fonctionnement jusqu'à ce que 100% du débit de fluide intermédiaire refroidi soit envoyé audit compresseur cryogénique pour y être comprimé.

[0124] Dans un aspect de l'invention, lors de la phase de démarrage de l'installation, l'installation est agencée pour que le fluide intermédiaire soit d'abord refroidi dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel, puis comprimé dans le compresseur cryogénique, puis renvoyé dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel sans circuler dans l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement préalablement.

[0125] Dans un aspect de l'invention, l'installation comprend un échangeur de chaleur de démarrage agencé pour, lors de la phase de démarrage de l'installation, chauffer le fluide intermédiaire refroidi dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel.

[0126] Dans un aspect de l'invention, l'échangeur de chaleur de démarrage est agencé pour échanger de la chaleur entre ledit fluide intermédiaire refroidi et un fluide caloporteur plus chaud que le fluide intermédiaire refroidi. Par exemple, l'échangeur de chaleur est un échangeur à eau agencé pour échanger de la chaleur entre ledit

fluide intermédiaire refroidi et de l'eau.

[0127] L'échangeur de chaleur de démarrage peut être utilisé uniquement pendant le démarrage pour remplacer l'apport de chaleur de l'échangeur de pré-refroidissement.

[0128] Dans un aspect de l'invention, l'échangeur de chaleur de démarrage sera court-circuité en opération stable du procédé.

[0129] Dans un aspect de l'invention, l'échangeur de chaleur de démarrage est agencé de telle sorte que le fluide intermédiaire refroidi est envoyé audit échangeur de chaleur de démarrage puis une fois réchauffé renvoyé à l'échangeur de chaleur de gaz naturel pour y être refroidi à nouveau.

[0130] Dans un aspect de l'invention, l'installation comprend un organe de détente de fluide intermédiaire refroidi et comprimé agencé en amont de l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement et en aval du compresseur cryogénique.

[0131] Dans un aspect de l'invention, l'organe de détente est agencé dans le circuit de fluide intermédiaire en aval du compresseur dans le sens de circulation du fluide intermédiaire. Le fait de comprimer et détendre le fluide intermédiaire refroidi permet d'optimiser le refroidissement de l'échangeur du pré-refroidissement et donc d'optimiser le pré-refroidissement du gaz à refroidir.

[0132] Dans un aspect de l'invention, l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement présente une température de fonctionnement.

[0133] Dans un aspect de l'invention, une fois que l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement atteint sa température de fonctionnement, il est démarré.

[0134] Dans un aspect de l'invention, l'installation comprend un circuit de fluide caloporteur dans lequel un fluide caloporteur secondaire plus chaud que le fluide intermédiaire refroidi circule.

[0135] Dans un aspect de l'invention, le fluide caloporteur secondaire comprend une portion du gaz à refroidir en sortie de l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement.

[0136] Dans un aspect de l'invention, l'installation comprend un conduit de détournement du circuit de gaz à refroidir agencé pour envoyer une portion de gaz à refroidir en sortie de l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement vers le circuit de fluide caloporteur secondaire.

[0137] Dans un aspect de l'invention, une fois que l'échangeur de chaleur de gaz naturel, le compresseur cryogénique et l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement sont à leur température de fonctionnement, l'installation est démarrée et fonctionne dans un mode stable.

[0138] Dans un aspect selon l'invention, l'échangeur de chaleur du gaz naturel est un échangeur en aluminium brasé à plaques et à ailettes (BAHX), ou un échangeur en acier inoxydable, ou un échangeur à circuits imprimés, ou un échangeur à tubes et à calandre.

[0139] Dans un aspect selon l'invention, l'échangeur de pré-refroidissement est agencé dans une première

boîte froide appelée boîte 80K.

[0140] D'autres caractéristiques, détails et avantages de l'invention ressortiront plus clairement à la lecture de la description qui suit d'une part, et de plusieurs exemples de réalisation donnés à titre indicatif et non limitatif en référence aux dessins schématiques annexés d'autre part, sur lesquels :

[Fig 1] La figure 1 est une représentation schématique du procédé selon l'invention.;

[0141] Les caractéristiques, variantes et les différentes formes de réalisation de l'invention peuvent être associées les unes avec les autres, selon diverses combinaisons, dans la mesure où elles ne sont pas incompatibles ou exclusives les unes par rapport aux autres. On pourra notamment imaginer des variantes de l'invention ne comprenant qu'une sélection de caractéristiques décrites par la suite de manière isolée des autres caractéristiques décrites, si cette sélection de caractéristiques est suffisante pour conférer un avantage technique et/ou pour différencier l'invention par rapport à l'état de la technique antérieur.

[0142] En opération stable, le procédé de refroidissement de l'hydrogène fonctionne de la manière suivante. Un échangeur de chaleur de gaz naturel E1 sert à récupérer les frigories du gaz naturel liquéfié 1 à -150°C en utilisant un fluide intermédiaire qui est refroidi par le gaz naturel liquéfié 1 dans l'échangeur de gaz naturel E1. L'échangeur de gaz naturel E1 peut être un échangeur en aluminium brasé à plaques et à ailettes ou un échangeur en acier inoxydable ou un échangeur à circuits imprimés. Sinon l'échangeur de gaz naturel E1 peut être un échangeur à tubes et à calandre.

[0143] Le gaz naturel liquéfié 1 est réchauffé, par exemple jusqu'à 15°C et éventuellement vaporisé pour refroidir le fluide intermédiaire 5 jusqu'à une température inférieure à -50°C, de préférence inférieure à -120°C. Le fluide intermédiaire 5 est refroidi dans l'échangeur de gaz naturel E1 jusqu'à une température supérieure ou égale à -145°C. Dans l'exemple, il est refroidi jusqu'à -140°C.

[0144] Le gaz naturel liquéfié 1 rentre au bout froid de l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1 et sort au bout chaud comme fluide 3.

[0145] Dans l'exemple, le fluide intermédiaire 5 est de l'azote. Il peut, par exemple, être de gaz naturel ou du méthane ou avoir une autre composition adaptée. De préférence le fluide intermédiaire 5 est inerte. Le fluide intermédiaire 5 se trouve de préférence à une pression entre 3 et 70 bars abs.

[0146] Le fluide intermédiaire 13 sort de l'échangeur de pré-refroidissement E2 à une température entre -90°C et -150°C, par exemple à -120°C, et est comprimé dans un premier compresseur C, par exemple un compresseur centrifuge, jusqu'à environ 20 bars. Ensuite le fluide intermédiaire comprimé à 20 bars est refroidi et comprimé dans un autre compresseur C1 jusqu'à une pression supérieure à 20 bars. Ensuite le fluide intermédiaire à plus de 20 bars 15 et est envoyé à 20°C au bout chaud de l'échangeur de gaz naturel E1 et s'y refroidit

jusqu'à une température inférieure à 90°C par exemple -140°C formant un fluide intermédiaire refroidi 27 qui est envoyé à l'échangeur de pré-refroidissement E2 à une température de -140°C. Le fluide intermédiaire refroidi 27 se réchauffe dans l'échangeur E2 jusqu'à 20°C (formant le débit 6) puis le débit 6 est refroidi contre le gaz naturel liquéfié dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1 pour former le fluide intermédiaire 5. Le fluide intermédiaire 5 rentre dans la turbine E à la température à laquelle il sort de l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1. Le fluide détendu 7 à 1,5 bars dans la turbine E est diphasique et est envoyé à un séparateur de phases où il forme un liquide 9 et un gaz 11. Le liquide est vaporisé dans un réchauffeur E3 et rejoint le gaz 11 pour se réchauffer dans l'échangeur de pré-refroidissement E2 constituant le débit 13 à envoyer au compresseur froid C. Tout le gaz 13 est comprimé dans le compresseur froid 1 et ensuite dans un surpresseur C1 couplé à la turbine E. C'est le gaz comprimé dans le surpresseur C1 qui est envoyé à l'échangeur E1 pour récupérer le froid du LNG 1.

[0147] Le gaz à refroidir 23, ici de l'hydrogène gazeux à température ambiante, par exemple 20°C rentre au bout chaud de l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement E2 qu'il parcourt d'un bout à l'autre pour se refroidir jusqu'à une température inférieure à -150°C, par exemple -180°C. Il est ensuite refroidi dans l'échangeur de chaleur E3 contre le liquide du séparateur de phases pour former de l'hydrogène gazeux 25 à -190°C.

[0148] Le gaz refroidi 25 est ensuite refroidi et liquéfié dans un autre échangeur de chaleur de manière connue. Un cycle d'hydrogène, d'hélium ou de réfrigérants mixtes y compris des gaz rares fournit les frigorifiques nécessaires.

[0149] Ainsi le gaz naturel liquéfié fournit au moins une partie des frigorifiques nécessaires pour le prérefroidissement de l'hydrogène gazeux jusqu'à -190°C. Cette fraction peut être au moins 50%, au moins 75% ou au moins 99% des frigorifiques nécessaires pour le refroidissement de l'hydrogène gazeux jusqu'à -190°C.

[0150] Pendant le démarrage de l'installation, le gaz à refroidir 23 n'est pas envoyé à l'échangeur de pré-refroidissement E2 qui doit être mis en froid auparavant. Lors du démarrage de l'installation, le procédé comprend les étapes suivantes:

- apport d'un gaz naturel liquéfié 1 à un circuit de gaz naturel 24,
- vaporisation d'au moins une portion du gaz naturel liquéfié dans un vaporisateur H de manière à obtenir un gaz naturel vaporisé 26,
- envoi d'au moins une portion du gaz naturel vaporisé 26 dans un échangeur de chaleur de gaz naturel E1 de manière à refroidir ledit échangeur de chaleur de gaz naturel,
- démarrage de l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1 refroidi et refroidissement d'un fluide intermédiaire 5 circulant dans un circuit de cycle intermédiaire par échange de chaleur avec le gaz naturel

liquéfié 1 dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1 de manière à obtenir un fluide intermédiaire refroidi,

- envoi d'un débit de fluide intermédiaire refroidi 5 dans un compresseur cryogénique C à l'arrêt de manière à refroidir ledit compresseur cryogénique C,
- démarrage du compresseur cryogénique C et compression du fluide intermédiaire refroidi 5 dans ledit compresseur cryogénique démarré de manière à obtenir un fluide intermédiaire comprimé 15,
- envoi du fluide intermédiaire comprimé vers l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1 et refroidissement du fluide intermédiaire comprimé 15 dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1 pour obtenir un fluide naturel froid 27,
- pré-refroidissement du gaz à refroidir 23 circulant dans un circuit de gaz à refroidir par échange de chaleur entre au moins le fluide intermédiaire froid 27 et ledit gaz à refroidir 23.

[0151] La vaporisation d'au moins une portion du gaz naturel liquéfié est réalisée dans un vaporisateur atmosphérique. Le gaz naturel liquéfié 1 est apporté au vaporisateur par une conduite de dérivation 14 du gaz naturel liquéfié, ladite conduite de dérivation 14 du gaz naturel liquéfié étant agencée pour dévier le gaz naturel liquéfié 1 du circuit de gaz naturel pendant la phase de démarrage de l'installation. Le débit de la portion de gaz naturel liquéfié envoyée au vaporisateur est contrôlé par un organe de contrôle de détournement du gaz naturel liquéfié 2 agencé pour contrôler le débit de gaz naturel liquéfié envoyé au vaporisateur de gaz naturel H, ledit organe de contrôle étant agencé sur la conduite de dérivation 14 en amont du vaporisateur H. Lorsque l'organe de contrôle de détournement du gaz naturel liquéfié 2 est en position d'ouverture, au moins une portion du gaz naturel liquéfié 1 est envoyée au vaporisateur H selon un certain débit, et lorsque l'organe de contrôle de détournement du gaz naturel liquéfié 2 est en position de fermeture, il empêche l'envoi du gaz naturel liquéfié 1 dans le vaporisateur. Le gaz naturel liquéfié peut ainsi être envoyé directement à l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1 sans qu'une portion ne soit vaporisée.

[0152] Le débit de gaz naturel liquéfié 1 envoyé à l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1 est également contrôlé par un organe de contrôle du débit de gaz naturel liquéfié 4 agencé sur le circuit de gaz naturel en amont de l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1.

[0153] Dans cet exemple, l'échangeur de chaleur de gaz naturel présente une température de fonctionnement. Le débit de gaz naturel envoyé à l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1 est fonction de la température de l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1, ladite température correspondant à la température du gaz naturel liquéfié 1 ou du mélange de gaz naturel liquéfié 1 et du gaz naturel vaporisé 26 mesurée à l'entrée de l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1. Lorsque la température de fonctionnement de l'échangeur de cha-

leur de gaz naturel est atteinte, le procédé comprend une étape de fermeture de l'organe de contrôle de détournement de gaz naturel liquéfié 2 de manière à empêcher la vaporisation du gaz naturel liquéfié dans le vaporisateur H, et une étape d'ouverture de l'organe de contrôle du débit de gaz naturel liquéfié 4 de manière à laisser passer le débit de gaz naturel liquéfié 1 dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1. La fermeture de l'organe de contrôle de détournement et l'ouverture de l'organe de contrôle du débit de gaz naturel liquéfié sont progressives. Tant que la température de fonctionnement de l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1 n'est pas atteinte, du gaz naturel vaporisé 26 est envoyé à l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1.

[0154] Le refroidissement de l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1 s'opère de manière suivante :

1. Ouverture de l'organe de contrôle de détournement du gaz naturel liquéfié 2, vaporisation d'une portion du gaz naturel liquéfié dans le vaporisateur H et fermeture de l'organe de contrôle du débit de gaz naturel liquéfié 4 de manière à envoyer à l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1 uniquement du gaz naturel vaporisé 26,
2. Ouverture de l'organe de contrôle du débit de gaz naturel liquéfié 4, mélange du gaz naturel liquéfié 1 et du gaz naturel vaporisé 26 en amont de l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1, envoi du mélange de gaz naturel vaporisé et du gaz naturel liquéfié dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1,
3. Lorsque la température de fonctionnement de l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1 est atteinte, fermeture de l'organe de contrôle de détournement du gaz naturel liquéfié 2 de manière et ouverture totale de l'organe de contrôle du débit de gaz naturel liquéfié 4 de manière à envoyer seulement du gaz naturel liquéfié dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1.

[0155] Une fois que l'échangeur de gaz naturel atteint sa température de fonctionnement, ledit échangeur de gaz naturel est démarré et le fluide intermédiaire 5 est refroidi par échange thermique entre le gaz naturel liquéfié 1 et ledit fluide intermédiaire 5 dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel 5. On obtient ainsi un fluide intermédiaire refroidi.

[0156] Ensuite, lors de la phase de démarrage de l'installation 100, le fluide intermédiaire refroidi dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1 est envoyé vers le compresseur cryogénique C avant d'être envoyé à l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement.

[0157] Le compresseur cryogénique C présente une température de fonctionnement, notamment une température de fonctionnement comprise entre -150°C et -100°C à l'aspiration du compresseur en marche normale. Pour le démarrage, on est de préférence entre -50°C et -70°C.

[0158] Le fluide intermédiaire refroidi en sortie de l'é-

changeur de chaleur de gaz naturel E1 est détourné de l'échangeur de pré-refroidissement E2 par une conduite de dérivation 5A du fluide intermédiaire refroidi 5 pour être envoyé en amont du compresseur cryogénique C sans passer par ledit échangeur de chaleur de pré-refroidissement E2.

[0159] Le débit de fluide intermédiaire 5 envoyé au compresseur cryogénique C est contrôlé par au moins un organe de contrôle de débit du fluide intermédiaire refroidi 8, 10. L'organe de contrôle du débit de fluide intermédiaire refroidi 5 comprend ici deux vannes d'évacuation 8, 10 du fluide intermédiaire, l'une disposée en amont du compresseur cryogénique (vanne 8) et l'autre disposée en aval du compresseur cryogénique (vanne 10).

[0160] Lors de la phase de démarrage de l'installation 100, le procédé comprend une étape de mesure de la température du fluide intermédiaire refroidi 5 à l'entrée du compresseur cryogénique C. La température du compresseur cryogénique correspond à la température du fluide intermédiaire refroidi mesurée à l'entrée dudit compresseur cryogénique.

[0161] Les vannes d'évacuation 8, 10 du fluide intermédiaire refroidi sont disposées en amont et en aval du compresseur cryogénique C et sont agencées pour contrôler le débit de fluide intermédiaire refroidi 5 envoyé au compresseur cryogénique C en fonction de la température du compresseur cryogénique C.

[0162] Le débit de fluide intermédiaire refroidi envoyé au compresseur cryogénique C à l'arrêt lors de la phase de démarrage de l'installation est inférieur à 60%, par exemple inférieur ou égal 5%, du débit de marche normale du compresseur cryogénique. Un faible débit de fluide intermédiaire refroidi dans le compresseur cryogénique permet de refroidir progressivement ledit compresseur cryogénique. Le fluide intermédiaire refroidi 5 qui n'est pas envoyé au compresseur cryogénique en amont dudit compresseur cryogénique C est évacué du circuit de cycle intermédiaire, notamment dans l'atmosphère.

[0163] Le fluide intermédiaire refroidi 5 après avoir circulé dans le compresseur cryogénique C à l'arrêt est au moins en partie renvoyé en amont dudit compresseur cryogénique par la vanne d'évacuation 10 disposée en aval du compresseur cryogénique, de sorte à isoler ledit compresseur cryogénique dans un circuit fermé lorsque celui-ci est à l'arrêt, autrement dit tant que sa température de fonctionnement n'est pas atteinte.

[0164] Ainsi, les vannes d'évacuation permettent de faire passer un léger débit de fluide intermédiaire refroidi à travers le compresseur cryogénique lors de la phase de démarrage de l'installation de liquéfaction lorsque le compresseur n'est pas encore démarré, de sorte que la vitesse de refroidissement du compresseur cryogénique est contrôlée jusqu'à ce qu'il atteigne sa température de fonctionnement.

[0165] Tant que la température du compresseur est supérieure à la température de fonctionnement dudit

compresseur, au moins une vanne d'évacuation 8, 10, notamment au moins la vanne d'évacuation en amont 8 du compresseur cryogénique C, est au moins partiellement ouverte de sorte qu'au moins une partie du fluide intermédiaire refroidi 5 est évacué. Les deux vannes d'évacuation du fluide intermédiaire refroidi peuvent également être ouvertes, c'est à dire la vanne d'évacuation en amont du compresseur cryogénique et la vanne d'évacuation en aval du compresseur cryogénique.

[0166] Le procédé comprend une étape d'apport de fluide intermédiaire en aval du compresseur cryogénique C lorsque les vannes d'évacuation 8, 10 sont au moins partiellement ouvertes. Ainsi, il est possible de conserver un taux de fluide intermédiaire stable dans le circuit de fluide intermédiaire. Cet apport est réalisé par une vanne d'apport 12 de fluide intermédiaire.

[0167] Lorsque le compresseur cryogénique atteint sa température de fonctionnement, le procédé comprend une étape de démarrage du compresseur cryogénique. Le fluide intermédiaire refroidi peut être comprimé dans le compresseur C démarré. Lorsque le compresseur cryogénique C est démarré, les vannes d'évacuation 8, 10 du fluide intermédiaire sont fermées de telle sorte que le fluide intermédiaire refroidi n'est pas évacué et circule dans le compresseur pour y être comprimé. Le compresseur cryogénique C comprime alors le fluide intermédiaire refroidi 5 de manière à obtenir le fluide intermédiaire comprimé 15.

[0168] Par exemple, au moins la vanne d'évacuation 8 de fluide intermédiaire refroidi disposée en amont du compresseur cryogénique est progressivement fermée de sorte que le débit de fluide intermédiaire refroidi 5 passant dans le compresseur cryogénique C est de plus en plus élevé.

[0169] Lorsque le compresseur cryogénique C est démarré le débit de fluide intermédiaire refroidi 5 circulant dans le compresseur cryogénique est supérieur à 60% du débit de marche normal du compresseur, de préférence supérieur à 80% du débit de marche normal du compresseur, de préférence égal à 100% du débit de marche normal du compresseur cryogénique.

[0170] Lors de la phase de démarrage de l'installation 100, le fluide intermédiaire 5 est d'abord refroidi dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1, puis comprimé dans le compresseur cryogénique C, puis renvoyé dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1 sans circuler dans l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement E2.

[0171] Lors de la phase de démarrage de l'installation 100, le procédé comprend une étape de chauffage du fluide intermédiaire refroidi dans un échangeur de chaleur de démarrage W. Cette étape de chauffage du fluide intermédiaire refroidi 5 s'opère par échange de chaleur entre ledit fluide intermédiaire refroidi 5 et un fluide caloporteur plus chaud dans l'échangeur de chaleur de démarrage W. Par exemple, l'étape de chauffage du fluide intermédiaire refroidi 5 s'opère par échange de chaleur entre ledit fluide intermédiaire refroidi 5 et de l'eau dans un échangeur de chaleur à eau W. L'échan-

geur de chaleur de démarrage W peut être utilisé uniquement pendant le démarrage pour remplacer l'apport de chaleur de l'échangeur de pré-refroidissement. L'échangeur de chaleur de démarrage W sera court-circuité en opération stable du procédé.

[0172] Une telle étape de chauffage du fluide intermédiaire permet de consommer les frigories du gaz naturel liquéfié transmises au fluide intermédiaire de manière à conserver une température stable de fluide intermédiaire en attendant que l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement soit mis en route.

[0173] Le fluide intermédiaire refroidi 5 est envoyé audit échangeur de chaleur de démarrage W puis une fois réchauffé ledit fluide intermédiaire réchauffé est renvoyé à l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1 pour y être refroidi à nouveau.

[0174] Une fois que l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1 est démarré puis que le compresseur cryogénique C est démarré, le procédé comprend une étape de refroidissement de l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement E2.

[0175] L'échangeur de chaleur de pré-refroidissement présente une température de fonctionnement.

[0176] L'étape de refroidissement de l'échangeur de pré-refroidissement E2 est opérée par:

1. Échange de chaleur entre le fluide intermédiaire comprimé et refroidi 5 et un fluide caloporteur secondaire 27 plus chaud que ledit fluide intermédiaire comprimé et refroidi 5 dans l'échangeur de pré-refroidissement E2,
2. Lorsque la température du gaz à refroidir 25 en sortie du circuit de gaz à refroidir se rapproche de la température du fluide intermédiaire comprimé et refroidi 5 à l'entrée de l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement E2, diminution progressive du débit de fluide intermédiaire comprimé refroidi envoyé dans l'échangeur de chaleur de démarrage W et augmentation progressive du débit de fluide intermédiaire comprimé et refroidi 5 envoyé dans l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement E2, et
3. Démarrage d'un organe de détente E agencé pour détendre le fluide intermédiaire comprimé et refroidi en amont de l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement E2, ledit organe de détente E étant notamment une turbine de refroidissement booster configurée pour détendre le fluide intermédiaire comprimé et refroidi 5.

[0177] Le fait de comprimer et détendre le fluide intermédiaire refroidi permet d'optimiser le refroidissement de l'échangeur du pré-refroidissement et donc d'optimiser le pré-refroidissement du gaz à refroidir.

[0178] Une fois que l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement E2 atteint sa température de fonctionnement, il est démarré.

[0179] Comme représenté ici, le fluide caloporteur secondaire 27 peut comprendre une portion du gaz à

refroidir en sortie de l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement E2, la portion de gaz à refroidir en sortie de l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement E2 étant envoyée vers un circuit de fluide caloporteur secondaire par un conduit de détournement du circuit de gaz à refroidir 28.

[0180] Une fois que l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1, le compresseur cryogénique C et l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement E2 sont à leur température de fonctionnement, l'installation est démarrée et fonctionne dans un mode stable.

Revendications

1. Procédé de refroidissement d'un gaz à refroidir, notamment d'hydrogène, utilisant une installation de liquéfaction d'hydrogène, ledit procédé comprenant lors d'une phase de démarrage de ladite installation :

- apport d'un gaz naturel liquéfié (1) à un circuit de gaz naturel,
- vaporisation d'au moins une portion du gaz naturel liquéfié (1) dans un vaporisateur (H) de manière à obtenir un gaz naturel vaporisé (26),
- envoi d'au moins une portion du gaz naturel vaporisé dans un échangeur de chaleur de gaz naturel (E1) de manière à refroidir ledit échangeur de chaleur de gaz naturel (E1),
- démarrage de l'échangeur de chaleur de gaz naturel (E1) refroidi et refroidissement d'un fluide intermédiaire circulant dans un circuit de cycle intermédiaire par échange de chaleur avec le gaz naturel liquéfié (1) dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel (E1) de manière à obtenir un fluide intermédiaire refroidi (5),
- envoi d'un débit de fluide intermédiaire refroidi (5) dans un compresseur cryogénique (C) à l'arrêt de manière à refroidir ledit compresseur cryogénique (C), notamment de manière à contrôler la vitesse de refroidissement de l'installation en suivant la température à l'entrée du compresseur, notamment le rythme de refroidissement est de 1°C/min au début jusqu'à -50°C par exemple puis le rythme de refroidissement est prévu plus rapide,
- démarrage du compresseur cryogénique (C) et compression du fluide intermédiaire refroidi (5) dans ledit compresseur cryogénique démarré de manière à obtenir un fluide intermédiaire comprimé (15),
- envoi du fluide intermédiaire comprimé (15) vers l'échangeur de chaleur de gaz naturel E1 et refroidissement du fluide intermédiaire comprimé (15) dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel pour obtenir un fluide naturel comprimé et refroidi (5),

- pré-refroidissement du gaz à refroidir (23) circulant dans un circuit de gaz à refroidir par échange de chaleur entre au moins le fluide intermédiaire comprimé et refroidi (5) et ledit gaz à refroidir (23) dans un échangeur de chaleur de pré-refroidissement (E2).

2. Procédé selon la revendication précédente, **caractérisé en ce qu'il** comprend une étape de contrôle du débit de la portion de gaz naturel liquéfié envoyé au vaporisateur (H) opéré par au moins un organe de contrôle de détournement du gaz naturel liquéfié (2) agencé pour contrôler le débit de gaz naturel liquéfié envoyé au vaporisateur (H) et une étape de contrôle du débit de gaz naturel liquéfié (1) envoyé à l'échangeur de chaleur de gaz naturel (E1) opérée par un organe de contrôle du débit de gaz naturel liquéfié (4) agencé sur le circuit de gaz naturel en amont de l'échangeur de chaleur de gaz naturel (E1).
3. Procédé selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** le débit de gaz naturel liquéfié (1) envoyé à l'échangeur de chaleur de gaz naturel (E1) est fonction de la température du gaz naturel liquéfié (1) ou d'un mélange de gaz naturel liquéfié (1) et du gaz naturel vaporisé (26) mesurée à l'entrée de l'échangeur de chaleur de gaz naturel (E1).
4. Procédé selon l'une des revendications 2 ou 3, **caractérisé en ce que** l'échangeur de chaleur de gaz naturel (E1) présente une température de fonctionnement, et lorsque la température de fonctionnement de l'échangeur de chaleur de gaz naturel (E1) est atteinte, le procédé comprend une étape de fermeture de l'organe de contrôle de détournement de gaz naturel liquéfié (2) de manière à empêcher la vaporisation du gaz naturel liquéfié (1) dans le vaporisateur (H), et une étape d'ouverture de l'organe de contrôle du débit de gaz naturel liquéfié (4) de manière à laisser passer le débit de gaz naturel liquéfié 1 dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel (E1).
5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, lors de la phase de démarrage de l'installation, le fluide intermédiaire refroidi (5) dans l'échangeur de chaleur de gaz naturel (E1) est envoyé vers le compresseur cryogénique (C) avant d'être envoyé à l'échangeur de chaleur de pré-refroidissement (E2).
6. Procédé selon la revendication précédente, **caractérisée en ce que** le procédé comprend une étape de contrôle du débit de fluide intermédiaire envoyé au compresseur cryogénique (C), ladite étape de contrôle étant opérée par au moins un organe de contrôle (8, 10) de débit du fluide intermédiaire refroidi (5), l'organe de contrôle du débit de fluide

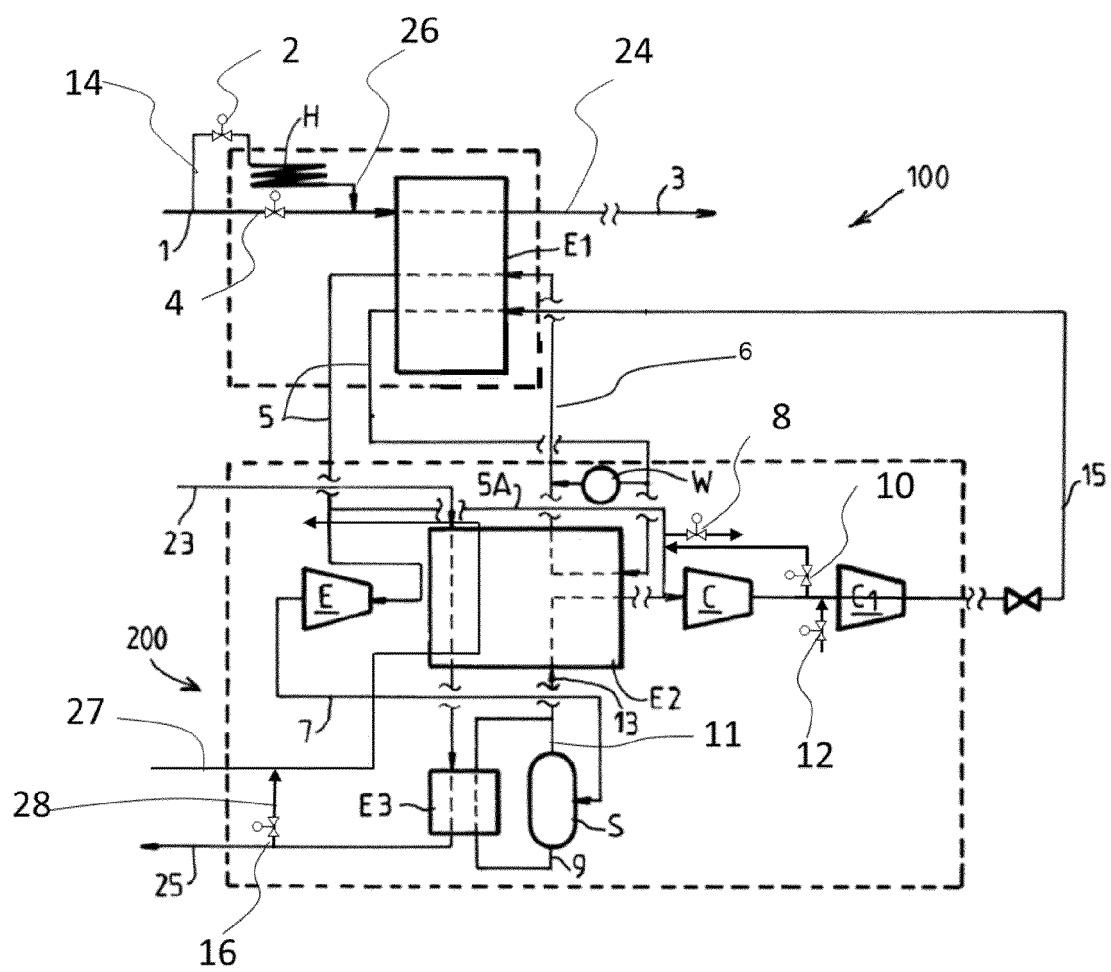
intermédiaire comprend deux vannes d'évacuation du fluide intermédiaire (8, 10), l'une disposée en amont du compresseur cryogénique et l'autre disposée en aval du compresseur cryogénique (C).

7. Procédé selon l'une des revendications 5 ou 6, **caractérisé en ce qu'il** comprend une étape de mesure de la température du fluide intermédiaire refroidi (5) à l'entrée du compresseur cryogénique (C). 5
8. Procédé selon l'une des revendications 5 à 7, **caractérisé en ce que** le débit de fluide intermédiaire refroidi (5) envoyé au compresseur cryogénique (C) à l'arrêt est inférieur à 60% du débit de marche normale du compresseur cryogénique. 10
9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, lors de la phase de démarrage de l'installation, le procédé comprend une étape de chauffage du fluide intermédiaire refroidi (5) dans un échangeur de chaleur de démarrage (W), l'étape de chauffage du fluide intermédiaire refroidi s'opérant par échange de chaleur entre ledit fluide intermédiaire refroidi (5) et un fluide caloporteur plus chaud dans l'échangeur de chaleur de démarrage (W). 15
10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le débit de fluide intermédiaire refroidi envoyé au compresseur cryogénique à l'arrêt est inférieur à 60% du débit de marche normale du compresseur cryogénique. 20
11. Installation (100) de production d'un gaz à refroidir, notamment d'un fluide cryogénique, en particulier de l'hydrogène liquéfié, comprenant : 25
 - un circuit de gaz à refroidir (23) ayant une extrémité amont destinée à être reliée à une source de gaz et une extrémité aval destinée à être reliée à au moins un système receveur, tel qu'un stockage cryogénique et/ou un moyen de transport, 30
 - un circuit de gaz naturel dans lequel circule un gaz naturel (1), notamment un gaz naturel liquéfié, 35
 - un échangeur de chaleur de gaz naturel (E1) agencé pour échanger la chaleur du gaz naturel liquéfié (1) avec un fluide intermédiaire (5) circulant au sein d'un circuit de cycle intermédiaire, 40
 - au moins un compresseur cryogénique (C) agencé pour, lors d'une phase de démarrage de l'installation, comprimer le fluide intermédiaire refroidi (5), 45
 - au moins un élément de contrôle (8, 10) du débit de fluide intermédiaire (5) disposé en amont et/ou en aval du compresseur cryogénique (C), ledit élément de contrôle étant 50

agencé pour, lors de la phase de démarrage de l'installation, contrôler le débit de fluide intermédiaire refroidi (5) en provenance de l'échangeur de chaleur de gaz naturel (E1) pouvant circuler dans le compresseur cryogénique (C) lorsque celui-ci est à l'arrêt, notamment de manière à contrôler la vitesse de refroidissement de l'installation en suivant la température à l'entrée du compresseur, notamment le rythme de refroidissement est de 1°C/min au début jusqu'à -50°C par exemple puis le rythme de refroidissement est prévu plus rapide,
- au moins un échangeur de chaleur de pré-refroidissement (E2) agencé pour échanger de la chaleur entre au moins le fluide intermédiaire comprimé et refroidi (5) et le gaz à refroidir (23).

12. Installation (100) de production d'un gaz à refroidir, selon la revendication précédente, **caractérisée en ce qu'elle** comprend un vaporisateur agencé pour vaporiser une portion du gaz naturel liquéfié. 20
13. Installation (100) de production d'un gaz à refroidir, selon l'une des revendications 11 à 12, **caractérisée en ce qu'elle** comprend une unité de commande agencée pour mettre en œuvre le procédé selon l'une des revendications 1 à 10. 25

[Fig. 1]





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 25 16 7964

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EPO FORM 1503 03.82 (P24C02)

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	EP 4 325 150 A1 (AIR LIQUIDE [FR]) 21 février 2024 (2024-02-21)	1-5,7-10	INV.
Y	* alinéas [0030] - [0040]; figure 2 *	6,11-13	F25J1/00 F25J1/02
Y	EP 2 623 414 A1 (MITSUBISHI HEAVY IND LTD [JP]) 7 août 2013 (2013-08-07) * alinéa [0033]; figure 1 *	6,11-13	
A	JP 2013 210125 A (TAIYO NIPPON SANJO CORP) 10 octobre 2013 (2013-10-10) * alinéas [0013], [0037] - [0041]; figure 1 *	1,11	
A	KUENDIG ANDRES ET AL: "Large scale hydrogen liquefaction in combination with LNG re-gasification", 16TH WORLD HYDROGEN ENERGY CONFERENCE 2006, WHEC 2006, vol. 23, 1 juin 2006 (2006-06-01), pages 3326-3333, XP055886984, Extrait de l'Internet: URL:https://www.cder.dz/A2H2/Medias/Download/Proc%20PDF/posters/[GIV]%20Liquid%20&%20gaseous%20storage,%20delidevy,%20safety,%20RCS/713.pdf> * figure 5 *	1-13	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) F25J
A	CN 116 255 790 A (SINOPEC ENGINEERING INC; SINOPEC ENGINEERING GROUP CO) 13 juin 2023 (2023-06-13) * figures *	1-13	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 2 septembre 2025	Examineur Göritz, Dirk
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

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

EP 25 16 7964

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

02-09-2025

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 4325150	A1	21-02-2024	DK	4325150 T3	30-06-2025
			EP	4325150 A1	21-02-2024
			ES	3031454 T3	08-07-2025
			FR	3138939 A1	23-02-2024
			JP	2024027092 A	29-02-2024
			KR	20240024016 A	23-02-2024

EP 2623414	A1	07-08-2013	CN	103097237 A	08-05-2013
			EP	2623414 A1	07-08-2013
			JP	5737894 B2	17-06-2015
			JP	2012076559 A	19-04-2012
			KR	20130031843 A	29-03-2013
			WO	2012043274 A1	05-04-2012

JP 2013210125	A	10-10-2013	JP	5783945 B2	24-09-2015
			JP	2013210125 A	10-10-2013

CN 116255790	A	13-06-2023	AUCUN		

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