

①② **BREVET D'INVENTION** **B1**

⑤④ Procédé et installation de refroidissement d'un flux de fluide utilisateur.

②② Date de dépôt : 08.12.22.

③③ Priorité :

⑥③ 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 PROCEDES GEORGES CLAUDE SOCIETE
ANONYME — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 14.06.24 Bulletin 24/24.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 22.11.24 Bulletin 24/47.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : GONDRAND Cécile, DURAND Fabien
et BERNHARDT Jean-Marc.

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

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



Description

Titre de l'invention : Procédé et installation de refroidissement d'un flux de fluide utilisateur

- [0001] L'invention concerne un procédé et une installation de refroidissement d'un flux de fluide utilisateur.
- [0002] L'invention concerne plus particulièrement un procédé de refroidissement d'un flux de fluide utilisateur, notamment du gaz naturel liquéfié, le procédé utilisant une installation comprenant un réfrigérateur cryogénique, c'est-à-dire opérant à une température comprise entre moins 100 degrés centigrade et moins 273 degrés centigrade, le réfrigérateur cryogénique étant du type à fluide de cycle et comprenant un circuit de travail formant une boucle et contenant le fluide de cycle, le réfrigérateur comprenant un échangeur de refroidissement et étant configuré pour produire une puissance froide déterminée utilisée pour extraire de la chaleur au flux de fluide utilisateur par échange de chaleur avec le fluide de cycle circulant dans le circuit de travail, le circuit de travail formant un cycle comprenant: un mécanisme de compression du fluide de cycle, un mécanisme de refroidissement du fluide de cycle, un mécanisme de détente du fluide de cycle et un mécanisme de réchauffement du fluide de cycle, l'installation comprenant au moins un réservoir de fluide utilisateur, une conduite de circulation dudit flux de fluide utilisateur prélevé du au moins un réservoir pour être mis en échange thermique avec l'échangeur de refroidissement du réfrigérateur avant d'être réinjecté dans au moins un réservoir, le procédé comprenant une étape d'abaissement déterminé de la température du flux de fluide utilisateur dans l'échangeur de refroidissement, le procédé comprenant une étape de détection d'un éventuel encrassement de l'échangeur de refroidissement provoqué par une solidification de composants de fluide utilisateur dans l'échangeur de refroidissement et, en cas de détection d'un tel encrassement, une étape de diminution de l'abaissement de la température du flux de fluide utilisateur dans l'échangeur de refroidissement.
- [0003] L'invention peut concerner en particulier les procédés et installation de réfrigération ou de maintien en froid de gaz naturel liquéfié sur des bateaux appelés méthaniers.
- [0004] Le sous-refroidissement et/ou la liquéfaction des évaporations d'un fluide cryogénique liquéfié dans un stockage est généralement effectuée grâce au transfert de puissance froide d'un réfrigérateur vers le liquide cryogénique (par échange thermique en vue du sous-refroidissement de ce dernier). Le fluide refroidi est ensuite renvoyé dans le stockage où il a été prélevé (ou un stockage voisin). Dans d'autre configurations c'est le gaz vaporisé qui est reliquéfié.
- [0005] Le fluide cryogénique à refroidir à une température déterminée n'est pas néces-

sairement un composé pur et peut être sous-forme de mélange notamment d'hydrocarbures plus ou moins lourds ayant des températures de solidification différentes. Ainsi, certains des composants du mélange peuvent être solidifiés au cours du sous-refroidissement. Ces particules solides peuvent encrasser l'échangeur du réfrigérateur et ainsi dégrader les performances de l'installation. En particulier, cet encrassement peut générer des modifications de fonctionnement dans le circuit de travail du réfrigérateur lorsque ce dernier est régulé finement.

- [0006] Une solution connue consiste à diminuer ou supprimer temporairement la puissance froide fournie par le réfrigérateur (cf. par exemple FR3099816A1, FR3099817A1, FR3099818A1).
- [0007] Ces solutions satisfaisantes ont cependant l'inconvénient de nuire à l'efficacité énergétique du réfrigérateur.
- [0008] Un but de la présente invention est de pallier tout ou partie des inconvénients de l'art antérieur relevés ci-dessus.
- [0009] A cette fin, le procédé selon l'invention, par ailleurs conforme à la définition générique qu'en donne le préambule ci-dessus, est essentiellement caractérisé en ce que l'étape de diminution de l'abaissement de la température est réalisée en augmentant le débit et/ou la température du flux de fluide utilisateur admis à circuler dans l'échangeur de refroidissement.
- [0010] Par ailleurs, des modes de réalisation de l'invention peuvent comporter l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :
 - lors de l'étape de diminution de l'abaissement de la température, la puissance froide produite par le réfrigérateur cryogénique et fournie à l'échangeur de refroidissement est maintenue constante,
 - lors de l'étape de diminution de l'abaissement de la température, la puissance froide produite par le réfrigérateur cryogénique et fournie à l'échangeur de refroidissement est réduite d'un niveau déterminé, cette réduction contribuant à la diminution de l'abaissement de la température du flux de fluide dans l'échangeur de refroidissement,
 - le mécanisme de détente du fluide de cycle comprend une ou plusieurs turbine(s) de détente dont une turbine la plus froide qui détend et refroidit le fluide de cycle avant son passage dans l'échangeur de refroidissement, dans lequel, avant l'étape de diminution de l'abaissement de la température, le différentiel de température du flux de fluide utilisateur entre l'entrée et la sortie l'échangeur de refroidissement est égal ou sensiblement égal au différentiel de température du fluide de cycle entre l'entrée et la sortie de la turbine la plus froide, et en ce que, pendant l'étape de diminution de l'abaissement de la température, le différentiel de température du flux de fluide utilisateur entre

l'entrée et la sortie l'échangeur de refroidissement est diminué et est inférieur au différentiel de température du fluide de cycle entre l'entrée et la sortie de la turbine la plus froide,

- le flux de fluide utilisateur est mis en circulation dans l'échangeur de refroidissement par au moins une pompe, l'étape de diminution de l'abaissement déterminé de la température du flux de fluide utilisateur étant réalisée en augmentant le débit de fluide utilisateur admis à circuler dans l'échangeur de refroidissement en augmentant le débit de la pompe et/ou en augmentant le nombre de pompes utilisées pour la mise en circulation du fluide utilisateur dans l'échangeur de refroidissement,
- l'étape d'abaissement déterminé de la température du flux de fluide utilisateur est réalisée en augmentant le débit de fluide utilisateur admis à circuler dans l'échangeur de refroidissement en augmentant le nombre de pompes utilisées pour la mise en circulation du fluide utilisateur dans l'échangeur de refroidissement, le procédé comprenant une étape de pompage de fluide utilisateur dans deux réservoirs distincts de fluide utilisateur via des pompes distinctes respectives, le fluide utilisateur refroidi dans l'échangeur de refroidissement étant renvoyé dans l'un au moins des réservoirs une détection d'une baisse de débit en dessous d'un seuil dans le passage de l'échangeur de refroidissement prévu pour de fluide utilisateur,
- l'étape de détection d'un éventuel encrassement de l'échangeur de refroidissement comprend au moins l'un parmi : une détection d'une augmentation de la perte de charge dans le passage de l'échangeur de refroidissement prévu pour de fluide utilisateur, une détection de l'augmentation du pincement de l'échangeur de refroidissement, c'est-à-dire une augmentation du différentiel de température entre les passages relativement chaud et froid d'au moins un fluide dans l'échangeur de refroidissement,
- l'étape de détection d'un éventuel encrassement de l'échangeur de refroidissement utilise au moins un ensemble de capteur(s) parmi : un ensemble de capteur(s) de mesure de la température d'au moins un flux de fluide entre l'entrée et la sortie de l'échangeur de refroidissement, un ensemble de capteur(s) de mesure d'un différentiel de pression du flux de fluide utilisateur entre l'entrée et la sortie de l'échangeur de refroidissement, un ensemble de capteur(s) de mesure du débit du flux de fluide utilisateur dans l'échangeur de refroidissement.

[0011] L'invention concerne également une installation de refroidissement et/ou de liquéfaction d'un flux de fluide utilisateur, notamment du gaz naturel liquéfié, comprenant un réfrigérateur cryogénique, c'est-à-dire fonctionnant à une température

comprise entre moins 100 degrés centigrade et moins 273 degrés centigrade, le réfrigérateur cryogénique étant du type à fluide de cycle et comprenant un circuit de travail formant une boucle et contenant le fluide de cycle, le réfrigérateur comprenant un échangeur de refroidissement et étant configuré pour produire une puissance froide déterminée utilisée pour extraire de la chaleur au flux de fluide utilisateur par échange de chaleur avec le fluide de cycle circulant dans le circuit de travail, le circuit de travail formant un cycle comprenant en série: un mécanisme de compression du fluide de cycle, un mécanisme de refroidissement du fluide de cycle, un mécanisme de détente du fluide de cycle et un mécanisme de réchauffement du fluide de cycle, l'installation comprenant au moins un réservoir de fluide utilisateur, une conduite de circulation configurée pour guider un flux de fluide utilisateur à refroidir d'au moins un réservoir vers l'échangeur de refroidissement du réfrigérateur en vue d'un échange thermique, l'installation étant configurée pour réaliser un abaissement déterminé de la température du flux de fluide utilisateur dans l'échangeur de refroidissement avant son renvoi dans au moins un réservoir, l'installation comprenant un système de détection d'un éventuel encrassement de l'échangeur de refroidissement provoqué par une solidification de composants de fluide utilisateur dans l'échangeur de refroidissement et un dispositif de contrôle du niveau d'abaissement de la température du flux de fluide utilisateur dans l'échangeur de refroidissement, le dispositif de contrôle étant configuré pour permettre une diminution de l'abaissement de la température en cas de détection d'un tel encrassement, le dispositif de contrôle comprenant un organe de régulation du débit et/ou la température du flux de fluide utilisateur admis à circuler dans l'échangeur de refroidissement.

[0012] Selon d'autres particularités possibles :

- le mécanisme de détente du fluide de cycle comprend un ensemble de turbine(s) de détente dont une turbine la plus froide qui détend et refroidit le fluide de cycle avant son passage dans l'échangeur de refroidissement, l'installation étant configurée, en cas d'absence d'encrassement de l'échangeur de refroidissement, pour maintenir le différentiel de température du flux de fluide utilisateur entre l'entrée et la sortie l'échangeur de refroidissement égal au différentiel de température du fluide de cycle entre l'entrée et la sortie de la turbine la plus froide, en cas d'encrassement de l'échangeur de refroidissement, le dispositif de contrôle est configuré pour abaisser le différentiel de température du flux de fluide utilisateur entre l'entrée et la sortie l'échangeur de refroidissement en dessous du différentiel de température du fluide de cycle entre l'entrée et la sortie de la turbine la plus froide,
- l'installation comporte au moins une pompe configurée pour envoyer un flux de fluide utilisateur à refroidir d'au moins un réservoir vers l'échangeur de re-

- froidissement du réfrigérateur en vue d'un échange thermique, l'organe de régulation du débit et/ou la température du flux de fluide utilisateur admis à circuler dans l'échangeur de refroidissement étant configuré pour augmenter le débit de la ou d'au moins une pompe et/ou pour mettre en marche au moins une pompe supplémentaire pour augmenter le débit dudit flux,
- l'installation comporte deux réservoirs distincts de fluide utilisateur et des pompes distinctes respectives,
 - le système de détection d'un éventuel encrassement de l'échangeur de refroidissement comprend au moins un ensemble de capteur(s) parmi : un ensemble de capteur(s) de mesure de la température d'au moins un flux de fluide entre l'entrée et la sortie de l'échangeur de refroidissement, un ensemble de capteur(s) de mesure d'un différentiel de pression du flux de fluide utilisateur entre l'entrée et la sortie de l'échangeur de refroidissement, un capteur de débit du flux de fluide utilisateur circulant dans l'échangeur de refroidissement.

[0013] L'invention peut concerner également tout dispositif ou procédé alternatif comprenant toute combinaison des caractéristiques ci-dessus ou ci-dessous dans le cadre des revendications.

[0014] D'autres particularités et avantages apparaîtront à la lecture de la description ci-après, faite en référence aux figures dans lesquelles :

Brève description des figures

[0015] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés dans lesquels :

[0016] [Fig.1] est une vue schématique et partielle illustrant un exemple de structure et de fonctionnement d'un exemple d'installation selon l'invention,

[0017] [Fig.2] est une vue schématique et partielle illustrant un autre exemple de structure et de fonctionnement d'un exemple d'installation selon l'invention,

[0018] [Fig.3] est une vue schématique et partielle d'un détail de l'installation illustrant un exemple d'agencement d'échangeurs de chaleur de l'installation selon l'invention,

[0019] [Fig.4] est une vue schématique et partielle d'un détail de l'installation illustrant un exemple d'agencement de la détection d'encrassement dans un échangeur de chaleur de l'installation selon l'invention,

[0020] [Fig.5] est une vue schématique illustrant un exemple de variation de la puissance froide produite par le réfrigérateur, des pertes thermiques et de la puissance froide fournie par l'installation en fonction du débit de la pompe de l'installation,

Description détaillée

[0021] Sur toutes les figures, les mêmes références se rapportent aux mêmes éléments.

- [0022] Dans cette description détaillée, les réalisations suivantes sont des exemples. Bien que la description se réfère à un ou plusieurs modes de réalisation, cela ne signifie pas que les caractéristiques s'appliquent seulement à un seul mode de réalisation. De simples caractéristiques de différents modes de réalisation peuvent également être combinées et/ou interchangées pour fournir d'autres réalisations.
- [0023] L'installation 100 de refroidissement et/ou de liquéfaction d'un flux de fluide utilisateur est par exemple prévue pour refroidir et/ou sous-refroidir et/ou liquéfier du gaz naturel d'un ou plusieurs réservoir 5, par exemple sur un bateau.
- [0024] L'installation 100 comprenant un réfrigérateur 1 cryogénique, c'est-à-dire une machine produisant du froid à une température comprise entre moins 100 degrés centigrade et moins 273 degrés centigrade. Le réfrigérateur 1 cryogénique est du type à fluide de cycle et comprenant un circuit de travail 10 formant une boucle et contenant le fluide de cycle. Le circuit 10 de travail est configuré pour soumettre le fluide de cycle à un cycle thermodynamique amenant ce fluide de cycle à une température cryogénique à au moins une extrémité froide du circuit et qui est utilisée pour transférer une puissance froide à une application à refroidir. Par exemple, le cycle thermodynamique est le cycle de Brayton. Par exemple, le fluide de cycle comprend au moins l'un parmi : de l'hélium, de l'hydrogène, de l'azote, de l'argon...
- [0025] A cet effet, le réfrigérateur 1 comprend un échangeur 8 de refroidissement et le réfrigérateur 1 est configuré pour produire une puissance froide déterminée utilisée pour extraire de la chaleur au flux de fluide utilisateur par échange de chaleur avec le fluide de cycle circulant dans le circuit 10 de travail (par échange thermique dans l'échangeur 8 de refroidissement).
- [0026] Le circuit 10 de travail forme un cycle comprenant: un mécanisme 2 de compression du fluide de cycle (comprenant par exemple un ou plusieurs compresseurs en parallèle et/ou en série), un mécanisme 3 de refroidissement du fluide de cycle (par exemple un ou plusieurs échangeurs de chaleur en parallèle et/ou en série), un mécanisme 4 de détente du fluide de cycle (par exemple une ou plusieurs turbine et/ou vannes en série et/ou en parallèle) et un mécanisme 8, 3 de réchauffement du fluide de cycle (par exemple un ou plusieurs échangeurs de chaleur en parallèle et/ou en série). Par exemple le mécanisme 2 de compression, le mécanisme 3 de refroidissement, le mécanisme 4 de détente et le mécanisme 8, 3 de réchauffement du fluide de cycle sont disposés en série dans le circuit de travail.
- [0027] Comme illustré, les mécanismes de réchauffage et de refroidissement du fluide de cycle peuvent comporter au moins un échangeur de chaleur à contre-courant assurant un échange de chaleur entre deux portions de circuit 10 de cycle. Comme illustré à la [Fig.3], l'échangeur 8 de refroidissement être accolé un échangeur de chaleur 3 du circuit 10 de cycle.

- [0028] Comme schématisé à la [Fig.2], le ou les compresseurs peuvent être entraînés par au moins un moteur 12, par exemple électrique. De plus, comme représenté, la turbine 7 (ou au moins une des turbines 7) peut être montée sur le même arbre 15 du moteur que le compresseur 15 (moto-turbo-compresseur).
- [0029] L'installation 100 comprend au moins un réservoir 5 de fluide utilisateur (deux dans l'exemple illustré), une conduite 6 de circulation configurée pour prélever un flux de fluide utilisateur dans au moins un réservoir 5 vers l'échangeur 8 de refroidissement du réfrigérateur 1 en vue d'un échange thermique. Le fluide utilisateur est par exemple pompé via au moins une pompe 7 qui peut être logée dans le réservoir 5. Le flux de fluide utilisateur est refroidi dans l'échangeur 8 de refroidissement avant son renvoi dans au moins un réservoir 5 de l'installation 100.
- [0030] L'installation 100 est configurée de préférence pour réaliser un abaissement déterminé de la température du fluide utilisateur.
- [0031] L'installation 100 comprend un système de détection d'un éventuel encrassement de l'échangeur 8 de refroidissement provoqué par une solidification (givre) de composants de fluide utilisateur dans l'échangeur 8 de refroidissement.
- [0032] Cette détection ou détermination d'un encrassement peut être réalisée par l'une au moins des mesures suivantes : une détection d'une augmentation de la perte de charge dans le passage de l'échangeur 8 de refroidissement prévu pour de fluide utilisateur, une détection de l'augmentation du pincement de l'échangeur 8 de refroidissement, c'est-à-dire une augmentation du différentiel de température entre les passages relativement chaud et froid d'un fluide dans l'échangeur 8 de refroidissement. L'augmentation du pincement réduit la surface d'échange entre le fluide de cycle froid et le fluide utilisateur à refroidir.
- [0033] A cet effet, et comme schématisé à la [Fig.2], le système de détection peut comprendre un ensemble de capteur(s) 11 de mesure d'un différentiel de pression du flux de fluide utilisateur entre l'entrée et la sortie de l'échangeur 8 de refroidissement. Ceci est schématisé également à la [Fig.4]. Le différentiel de pression mesuré peut mettre en évidence une perte de charge dans l'échangeur 8 de refroidissement causée par un encrassement par une solidification de composés dans l'échangeur. Par exemple, ce différentiel de pression ou cette perte de charge mesurée est comparée à un seuil déterminé.
- [0034] En variante ou en combinaison, le système de détection peut comprendre un capteur 13 de débit (débitmètre par exemple) du flux de fluide utilisateur circulant dans l'échangeur 8 de refroidissement. Lorsque le débit mesuré chute en dessous d'un seuil ceci peut caractériser un encrassement de l'échangeur 8 de refroidissement.
- [0035] En variante ou en combinaison, le système de détection peut comprendre un ensemble de capteurs 9 de mesure de la température d'au moins un des flux de fluide

entrant et sortant de l'échangeur 8 de refroidissement pour déterminer son pincement. En effet, le pincement, c'est-à-dire le différentiel de température entre les passages d'un fluide relativement chaud et froid de l'échangeur 8 de refroidissement est un paramètre qui peut également caractériser un encrassement de l'échangeur 8 de refroidissement.

- [0036] Dans le cas de fonctionnement normal, l'installation 100 est configurée de préférence pour que le différentiel de température du flux de fluide utilisateur entre l'entrée et la sortie l'échangeur 8 de refroidissement est égal ou sensiblement égal au différentiel de température du fluide de cycle entre l'entrée et la sortie de ce même échangeur 8 de refroidissement.
- [0037] En cas d'encrassement de l'échangeur 8 de refroidissement dans le passage pour du flux de fluide utilisateur cet équilibre des débits et l'équilibre thermique est perturbé et modifie le pincement de cet échangeur 8. L'augmentation du pincement au-dessus d'un seuil déterminé caractérise un tel encrassement. Ceci peut être mesuré ou détecté par exemple par un ensemble de capteurs, par exemple deux capteurs 9, mesurant le différentiel de température entre l'entrée et la sortie d'un des flux transitant dans l'échangeur 8 de refroidissement. Par exemple, une dérive du pincement peut être caractérisée en mesurant une variation anormale dans le temps du différentiel de température du fluide de cycle entrant et sortant de l'échangeur 8 de refroidissement. Ce pincement peut être contrôlé/mesuré également en mesurant le différentiel de température entre l'entrée et la sortie une variation anormale dans le temps du différentiel de température du fluide utilisateur entrant et sortant de l'échangeur 8 de refroidissement (deux capteurs 9 de température appropriés par exemple). Bien entendu, il est possible d'envisager quatre capteurs 9 de température pour mesurer au niveau des entrées et sorties des deux flux de fluide (fluide de cycle et fluide utilisateur).
- [0038] Bien entendu tout autre système de détection de l'encrassement peut être envisagé (optique ou autre).
- [0039] En cas de détection d'un tel encrassement, l'installation est configurée (de préférence automatiquement) pour diminuer l'abaissement de la température du flux de fluide utilisateur dans l'échangeur 8 de refroidissement. Cette diminution de l'abaissement de la température est réalisée en augmentant le débit et/ou la température du flux de fluide utilisateur admis à circuler dans l'échangeur 8 de refroidissement. C'est-à-dire que, pour purger cet encrassement (résorber la solidification de matière dans l'échangeur 8 de refroidissement), plutôt que diminuer la puissance froide fournie par le réfrigérateur au niveau de l'échangeur 8 de refroidissement, l'installation agit au contraire sur le flux de fluide utilisateur (bien qu'une diminution de la puissance froide fournie par le réfrigérateur puisse être envisagée également éventuellement en complément).
- [0040] En augmentant au moins temporairement ce débit de fluide utilisateur dans

l'échangeur 8 de refroidissement (avec une puissance froide inchangée ou légèrement diminuée), le fluide utilisateur va être moins refroidi et la température dans l'échangeur 8 de refroidissement va être augmenter et va liquéfier les parties solides.

[0041] Dans le cas où l'installation comprend plusieurs systèmes permettant de détecter un encrassement, cette purge peut être activée quand l'un au moins des systèmes de détection d'un encrassement détecte un encrassement.

[0042] L'installation 100 comprend ainsi au moins un organe 7, 14 de régulation du débit et/ou la température du flux de fluide utilisateur admis à circuler dans l'échangeur 8 de refroidissement permettant de purger l'échangeur 8 en cas d'encrassement.

[0043] Le mécanisme 4 de détente du fluide de cycle comprend typiquement un ensemble de turbine(s) de détente dont au moins une turbine 4 la plus froide qui détend et refroidit le fluide de cycle avant son passage dans l'échangeur 8 de refroidissement.

[0044] Dans le cas normal, c'est-à-dire en cas d'absence d'encrassement de l'échangeur (8) de refroidissement, l'installation 100 est de préférence configurée, pour maintenir le différentiel de température du flux de fluide utilisateur entre l'entrée et la sortie l'échangeur 8 de refroidissement égal au différentiel de température du fluide de cycle entre l'entrée et la sortie de la turbine 4 la plus froide. C'est-à-dire que le refroidissement du fluide utilisateur correspond au refroidissement du fluide de cycle opéré par la turbine la plus froide (correspond sensiblement à quelques degrés près). En revanche, en cas d'encrassement de l'échangeur 8 de refroidissement, l'installation 100 comprend un dispositif de contrôle configuré pour abaisser le différentiel de température du flux de fluide utilisateur entre l'entrée et la sortie l'échangeur 8 de refroidissement en dessous du différentiel de température du fluide de cycle entre l'entrée et la sortie de la turbine 4 la plus froide. C'est-à-dire que le flux de fluide utilisateur est relativement moins refroidi dans l'échangeur 8 de refroidissement que le fluide de cycle aux bornes de la turbine 4 la plus froide.

[0045] Comme illustré à la [Fig.6], l'installation peut comprend un ensemble de capteur(s) 16 mesurant le différentiel de température du fluide de cycle entre l'entrée et la sortie de la turbine 7 la plus froide.

[0046] Le flux de fluide utilisateur est mis en circulation dans l'échangeur 8 de refroidissement par exemple par au moins une pompe 7. La diminution de l'abaissement déterminé de la température du flux de fluide utilisateur dans l'échangeur 8 de refroidissement (c'est-à-dire son réchauffement relatif) peut être réalisée en augmentant le débit de fluide utilisateur admis à circuler dans l'échangeur 8 de refroidissement en augmentant le débit de la pompe 7.

[0047] En variante ou en combinaison, ceci peut être obtenu en augmentant le nombre de pompes 7 utilisées pour la mise en circulation du fluide utilisateur dans l'échangeur 8 de refroidissement.

- [0048] Ceci est illustré à la [Fig.1] dans laquelle l'installation 100 comprend deux pompes raccordées en parallèle et pompant respectivement dans deux réservoirs 5 distincts. L'augmentation du débit de gaz liquéfié à refroidir peut être obtenue en faisant fonctionner au moins une deuxième pompe, qui ne fonctionnait pas dans le mode nominal ou normal.
- [0049] En fonctionnement normal, le différentiel de pression du fluide utilisateur aux bornes de l'échangeur 8 de refroidissement peut être par exemple de l'ordre de 15 degrés (c'est-à-dire refroidissement de quinze degrés). Certains fluides utilisateur notamment certaines sources de gaz naturel liquéfié peuvent avoir un taux de composés carbonés lourds plus élevés que la moyenne. Ces composés sont susceptibles de se solidifier dans l'échangeur au cours de ce (sous)refroidissement.
- [0050] La source froide (réfrigérateur 1) peut être reliée à deux réservoirs 5 mais alimentée avec une seule pompe 7 d'un des réservoirs 5. Le débit de fluide utilisateur à refroidir peut être augmenté pour réduire ce refroidissement (diminution du différentiel de température). Ceci conduit à augmenter les pertes thermiques dues à la pompe 7.
- [0051] En variante ou en combinaison, en cas d'encrassement, le débit de fluide utilisateur à refroidir peut être augmenté en mettant en marche ou en utilisant une pompe 7 supplémentaire. Ainsi, l'échangeur 8 de refroidissement 8 peut être alimenté temporairement via les deux pompes 7 (pompant de préférence dans des réservoirs 5 différents). En doublant le débit d'alimentation du fluide utilisateur à refroidir, on divise par deux le sous-refroidissement (à puissance froide comparable). Ceci réduit et assure le dégivrage des composés lourds solides dans l'échangeur 8 de refroidissement.
- [0052] Ainsi, en augmentant le débit de fluide utilisateur à refroidir dans l'échangeur 8 de refroidissement (qui fournit une puissance froide de refroidissement constante) on refroidit moins de fluide utilisateur et notamment celui-ci est amené au-dessus de la température de fusion des composés solides. Ceci permet de purger l'échangeur 8 de refroidissement encrassé.
- [0053] En variante ou en combinaison, pour purger l'encrassement l'installation peut utiliser un pilotage particulier de la ou des pompes 7. La pompe 7 peut être pilotée par un organe de commande électronique, par exemple un variateur de fréquence qui pilote le moteur de la pompe (et contrôle ainsi sa vitesse ou de débit fourni).
- [0054] En mode nominal (fonctionnement normal non encrassé) la pompe 7 peut être pilotée de manière à fonctionner à un débit inférieur à son débit maximal. En revanche, en cas d'encrassement, l'installation 100 peut être configurée pour que la pompe augmente son débit (par exemple le variateur de fréquence augmente son débit).
- [0055] Dans un mode de fonctionnement normal, le débit de la pompe 7 peut être réglé de manière à ce que le différentiel de température du fluide utilisateur aux bornes (entrée/sortie) de l'échangeur 8 de refroidissement soit égal ou sensiblement égal au

différentiel de température aux bornes de la turbine 4 la plus froide. C'est-à-dire que le refroidissement du fluide utilisateur correspond au refroidissement du fluide de cycle aux bornes de cette turbine 7 de détente.

- [0056] De plus, ce débit de la pompe 7 est de préférence choisi à la valeur la plus faible (parmi les débits possibles de la pompe 7) qui réalise cet équilibre de différentiels de température (tout en conservant la puissance froide du réfrigérateur 1). C'est-à-dire que le débit de la pompe 7 peut être réglé pour assurer que différentiel de température du fluide utilisateur à refroidir entre l'entrée et la sortie de l'échangeur 8 de refroidissement est égal (à quelques degrés près le cas échéant) au différentiel de température du fluide de cycle entre l'entrée et la sortie de la turbine 7 la plus froide du réfrigérateur 1. Et de préférence ce débit de la pompe 7 choisi est le plus faible débit qui réalise cette égalité.
- [0057] En effet, la puissance froide PF fournie par le réfrigérateur 1 est le produit du débit DF de fluide de cycle et de la capacité calorifique CC du fluide de cycle et du différentiel de température dT de ce fluide de cycle au niveau de l'échangeur 8 de refroidissement ($PF=DF \times CC \times dT$).
- [0058] La puissance froide utile PU (qui est réellement fournie au fluide utilisateur) est la différence entre la puissance froide générée par le réfrigérateur PF et les pertes liées aux équipements qui relient le réfrigérateur au fluide utilisateur du réservoir 5 (pompe, lignes, etc).
- [0059] Les pertes thermiques de la pompe 7 sont généralement proportionnelles au débit D de fluide pompé. Ainsi, régler le débit pompé au minimum permet de maximiser la puissance froide disponible (cf. [Fig.5]).
- [0060] Il y a donc un optimum d'efficacité entre le débit pompé le plus faible possible tout en maintenant un différentiel de température T suffisamment grand pour être le plus proche du différentiel de température aux bornes de la turbine 4 la plus froide.
- [0061] Ainsi, en augmentant temporairement le débit de la pompe 7 on peut également réduire l'efficacité du refroidissement du fluide utilisateur et provoquer un refroidissement moindre qui permet de purger l'encrassement solide dans l'échangeur 8 de refroidissement.
- [0062] Dans une variante de réalisation, l'installation 1 pourrait être configurée pour utiliser un débit de fluide de cycle de la pompe 7 qui est toujours supérieur au débit le plus efficace énergétiquement. C'est-à-dire que le débit de la pompe 7 est toujours augmenté pour éviter un refroidissement trop important du fluide utilisateur et ainsi prévenir (éviter) un givrage de composés dans l'échangeur 8 de refroidissement.
- [0063] Par exemple, le débit de fluide utilisateur à refroidir pourrait être maintenu tel que le différentiel de température de ce fluide utilisateur entre l'entrée et la sortie de l'échangeur 8 de refroidissement reste toujours inférieur au différentiel de température

du fluide de cycle entre l'entrée et la sortie de la turbine 7 la plus froide.

[0064] L'avantage de contrôler le débit de fluide utilisateur circulant dans l'échangeur 8 de refroidissement au lieu de contrôler la puissance froide fournie par le réfrigérateur permet de maintenir cette dernière constante. Ceci permet une régulation très simple ayant un impact que sur le débit du fluide utilisateur à refroidir. Ceci permet d'optimiser l'efficacité dans les cas où l'échangeur 8 de refroidissement peut s'encrasser par gel des composés solubles.

[0065] Comme illustré à la [Fig.1], l'installation peut comporter un organe 14 électronique, par exemple un contrôleur, comprenant un microprocesseur configuré pour réaliser tout ou partie des régulations (débit et/ou la température du flux de fluide utilisateur). En particulier, l'organe 14 électronique peut recevoir les mesures de tout ou partie des capteurs (température, pression, débit...) et commander la pompe 7 ou tout autre organe de l'installation 100.

Revendications

[Revendication 1]

Procédé de refroidissement d'un flux de fluide utilisateur, notamment du gaz naturel liquéfié, le procédé utilisant une installation comprenant un réfrigérateur (1) cryogénique, c'est-à-dire opérant à une température comprise entre moins 100 degrés centigrade et moins 273 degrés centigrade, le réfrigérateur (1) cryogénique étant du type à fluide de cycle et comprenant un circuit de travail (10) formant une boucle et contenant le fluide de cycle, le réfrigérateur (1) comprenant un échangeur (8) de refroidissement et étant configuré pour produire une puissance froide déterminée utilisée pour extraire de la chaleur au flux de fluide utilisateur par échange de chaleur avec le fluide de cycle circulant dans le circuit (10) de travail, le circuit (10) de travail formant un cycle comprenant: un mécanisme (2) de compression du fluide de cycle, un mécanisme (3) de refroidissement du fluide de cycle, un mécanisme (4) de détente du fluide de cycle et un mécanisme (8, 3) de réchauffement du fluide de cycle, l'installation comprenant au moins un réservoir (5) de fluide utilisateur, une conduite (6) de circulation dudit flux de fluide utilisateur prélevé du au moins un réservoir (5) pour être mis en échange thermique avec l'échangeur (8) de refroidissement du réfrigérateur (1) avant d'être réinjecté dans au moins un réservoir (5), le procédé comprenant une étape d'abaissement déterminé de la température du flux de fluide utilisateur dans l'échangeur (8) de refroidissement, le procédé comprenant une étape de détection d'un éventuel encrassement de l'échangeur (8) de refroidissement provoqué par une solidification de composants de fluide utilisateur dans l'échangeur (8) de refroidissement et, en cas de détection d'un tel encrassement, une étape de diminution de l'abaissement de la température du flux de fluide utilisateur dans l'échangeur (8) de refroidissement, l'étape de diminution de l'abaissement de la température étant réalisée en augmentant le débit et/ou la température du flux de fluide utilisateur admis à circuler dans l'échangeur (8) de refroidissement, caractérisé en ce que lors de l'étape de diminution de l'abaissement de la température, la puissance froide produite par le réfrigérateur (1) cryogénique et fournie à l'échangeur (8) de refroidissement est maintenue constante.

[Revendication 2]

Procédé selon l'une quelconque des revendications 1, caractérisé en ce que le mécanisme (4) de détente du fluide de cycle comprend une ou plusieurs turbine(s) de détente dont une turbine (4) la plus froide qui

détend et refroidit le fluide de cycle avant son passage dans l'échangeur (8) de refroidissement, dans lequel, avant l'étape de diminution de l'abaissement de la température, le différentiel de température du flux de fluide utilisateur entre l'entrée et la sortie l'échangeur (8) de refroidissement est égal ou sensiblement égal au différentiel de température du fluide de cycle entre l'entrée et la sortie de la turbine (4) la plus froide, et en ce que, pendant l'étape de diminution de l'abaissement de la température, le différentiel de température du flux de fluide utilisateur entre l'entrée et la sortie l'échangeur (8) de refroidissement est diminué et est inférieur au différentiel de température du fluide de cycle entre l'entrée et la sortie de la turbine (4) la plus froide.

[Revendication 3] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le flux de fluide utilisateur est mis en circulation dans l'échangeur (8) de refroidissement par au moins une pompe (7), l'étape de diminution de l'abaissement déterminé de la température du flux de fluide utilisateur étant réalisée en augmentant le débit de fluide utilisateur admis à circuler dans l'échangeur (8) de refroidissement en augmentant le débit de la pompe (7) et/ou en augmentant le nombre de pompes utilisées pour la mise en circulation du fluide utilisateur dans l'échangeur (8) de refroidissement.

[Revendication 4] Procédé selon la revendication 3, dans lequel, l'étape d'abaissement déterminé de la température du flux de fluide utilisateur est réalisée en augmentant le débit de fluide utilisateur admis à circuler dans l'échangeur (8) de refroidissement en augmentant le nombre de pompes (7) utilisées pour la mise en circulation du fluide utilisateur dans l'échangeur (8) de refroidissement, le procédé comprenant une étape de pompage de fluide utilisateur dans deux réservoirs (5) distincts de fluide utilisateur via des pompes (7) distinctes respectives, le fluide utilisateur refroidi dans l'échangeur (8) de refroidissement étant renvoyé dans l'un au moins des réservoirs (5).

[Revendication 5] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'étape de détection d'un éventuel encrassement de l'échangeur (8) de refroidissement comprend au moins l'un parmi : une détection d'une augmentation de la perte de charge dans le passage de l'échangeur (8) de refroidissement prévu pour le fluide utilisateur, une détection de l'augmentation du pincement de l'échangeur (8) de refroidissement, c'est-à-dire une augmentation du différentiel de température entre les passages relativement chaud et froid d'au moins un fluide dans

l'échangeur (8) de refroidissement, une détection d'une baisse de débit en dessous d'un seuil dans le passage de l'échangeur (8) de refroidissement prévu pour le fluide utilisateur.

[Revendication 6]

Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que l'étape de détection d'un éventuel encrassement de l'échangeur (8) de refroidissement utilise au moins un ensemble de capteur(s) parmi : un ensemble de capteur(s) (9) de mesure de la température d'au moins un flux de fluide entre l'entrée et la sortie de l'échangeur (8) de refroidissement, un ensemble de capteur(s) (11) de mesure d'un différentiel de pression du flux de fluide utilisateur entre l'entrée et la sortie de l'échangeur (8) de refroidissement, un ensemble de capteur(s) (13) de mesure du débit du flux de fluide utilisateur dans l'échangeur (8) de refroidissement.

[Revendication 7]

Installation de refroidissement et/ou de liquéfaction d'un flux de fluide utilisateur, notamment du gaz naturel liquéfié, comprenant un réfrigérateur (1) cryogénique, c'est-à-dire fonctionnant à une température comprise entre moins 100 degrés centigrade et moins 273 degrés centigrade, le réfrigérateur (1) cryogénique étant du type à fluide de cycle et comprenant un circuit de travail (10) formant une boucle et contenant le fluide de cycle, le réfrigérateur (1) comprenant un échangeur (8) de refroidissement et étant configuré pour produire une puissance froide déterminée utilisée pour extraire de la chaleur au flux de fluide utilisateur par échange de chaleur avec le fluide de cycle circulant dans le circuit (10) de travail, le circuit (10) de travail formant un cycle comprenant en série: un mécanisme (2) de compression du fluide de cycle, un mécanisme (3) de refroidissement du fluide de cycle, un mécanisme (4) de détente du fluide de cycle et un mécanisme (8, 3) de réchauffement du fluide de cycle, l'installation comprenant au moins un réservoir (5) de fluide utilisateur, une conduite (6) de circulation configurée pour guider un flux de fluide utilisateur à refroidir d'au moins un réservoir (5) vers l'échangeur (8) de refroidissement du réfrigérateur (1) en vue d'un échange thermique, l'installation étant configurée pour réaliser un abaissement déterminé de la température du flux de fluide utilisateur dans l'échangeur (8) de refroidissement avant son renvoi dans au moins un réservoir (5), l'installation comprenant un système de détection d'un éventuel encrassement de l'échangeur (8) de refroidissement provoqué par une solidification de composants de fluide utilisateur dans l'échangeur (8) de refroidissement et un dispositif de

contrôle du niveau d'abaissement de la température du flux de fluide utilisateur dans l'échangeur (8) de refroidissement, le dispositif de contrôle étant configuré pour permettre une diminution de l'abaissement de la température en cas de détection d'un tel encrassement le dispositif de contrôle comprenant un organe (7, 14) de régulation du débit et/ou la température du flux de fluide utilisateur admis à circuler dans l'échangeur (8) de refroidissement, caractérisée en ce qu'elle est configurée pour maintenir constante la puissance froide produite par le réfrigérateur (1) cryogénique et fournie à l'échangeur (8) de refroidissement lors d'une diminution de l'abaissement de la température du flux de fluide utilisateur dans l'échangeur (8) de refroidissement.

[Revendication 8]

Installation selon la revendication 7, caractérisée en ce que le mécanisme (4) de détente du fluide de cycle comprend un ensemble de turbine(s) de détente dont une turbine (4) la plus froide qui détend et refroidit le fluide de cycle avant son passage dans l'échangeur (8) de refroidissement, l'installation étant configurée, en cas d'absence d'encrassement de l'échangeur (8) de refroidissement, pour maintenir le différentiel de température du flux de fluide utilisateur entre l'entrée et la sortie l'échangeur (8) de refroidissement égal au différentiel de température du fluide de cycle entre l'entrée et la sortie de la turbine (4) la plus froide et en ce que, en cas d'encrassement de l'échangeur (8) de refroidissement, le dispositif de contrôle est configuré pour abaisser le différentiel de température du flux de fluide utilisateur entre l'entrée et la sortie l'échangeur (8) de refroidissement en dessous du différentiel de température du fluide de cycle entre l'entrée et la sortie de la turbine (4) la plus froide.

[Revendication 9]

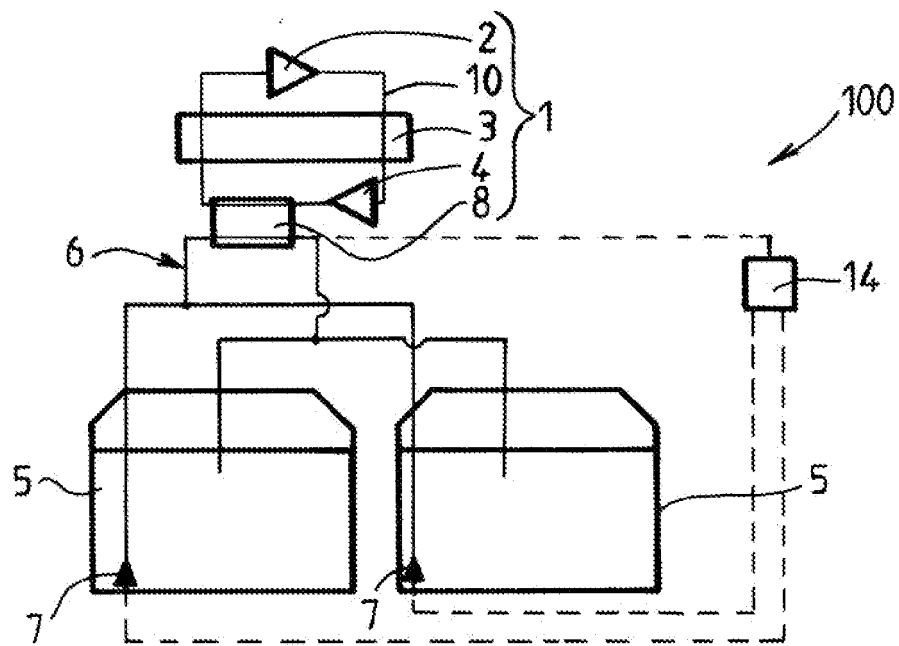
Installation selon l'une quelconque des revendications 7 à 8, caractérisée en ce qu'elle comporte au moins une pompe (7) configurée pour envoyer un flux de fluide utilisateur à refroidir d'au moins un réservoir (5) vers l'échangeur (8) de refroidissement du réfrigérateur (1) en vue d'un échange thermique, l'organe (7, 14) de régulation du débit et/ou la température du flux de fluide utilisateur admis à circuler dans l'échangeur (8) de refroidissement étant configuré pour augmenter le débit de la ou d'au moins une pompe (7) et/ou pour mettre en marche au moins une pompe supplémentaire pour augmenter le débit dudit flux.

[Revendication 10]

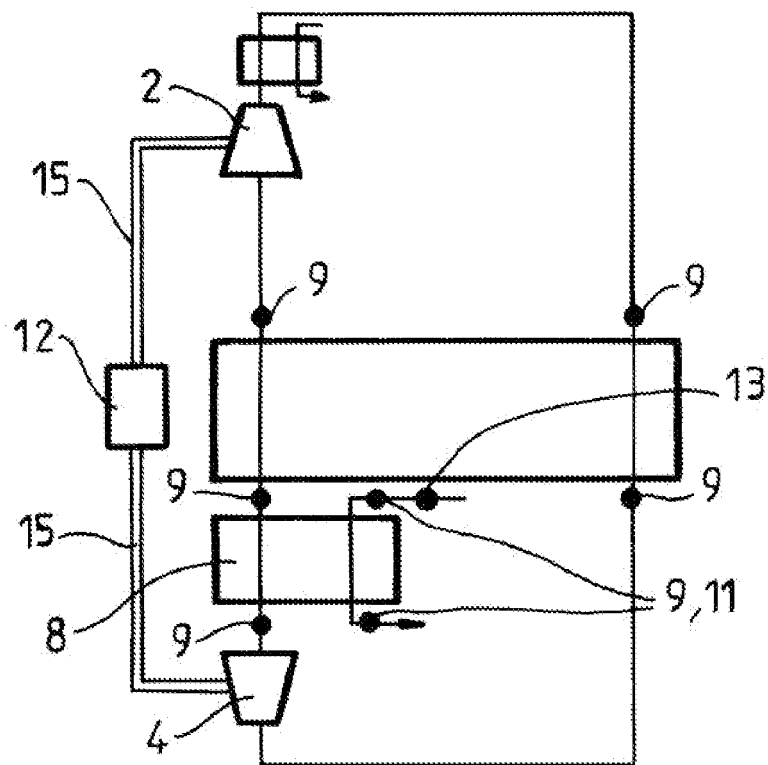
Installation selon la revendication 9, caractérisée en ce qu'elle comporte deux réservoirs (5) distincts de fluide utilisateur et des pompes (7) distinctes respectives.

[Revendication 11] Installation selon l'une quelconque des revendications 7 à 10, caractérisée en ce que le système de détection d'un éventuel encrassement de l'échangeur (8) de refroidissement comprend au moins un ensemble de capteur(s) parmi : un ensemble de capteur(s) (9) de mesure de la température d'au moins un flux de fluide entre l'entrée et la sortie de l'échangeur (8) de refroidissement, un ensemble de capteur(s) (11) de mesure d'un différentiel de pression du flux de fluide utilisateur entre l'entrée et la sortie de l'échangeur (8) de refroidissement, un capteur (13) de débit du flux de fluide utilisateur circulant dans l'échangeur (8) de refroidissement.

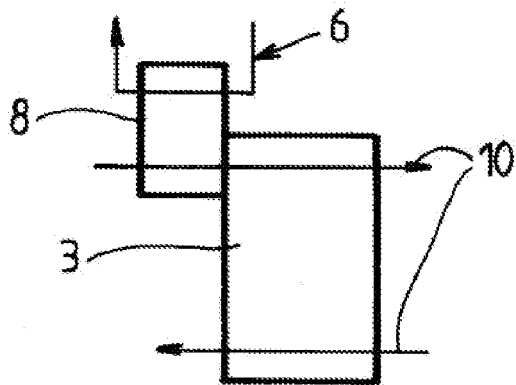
[Fig. 1]



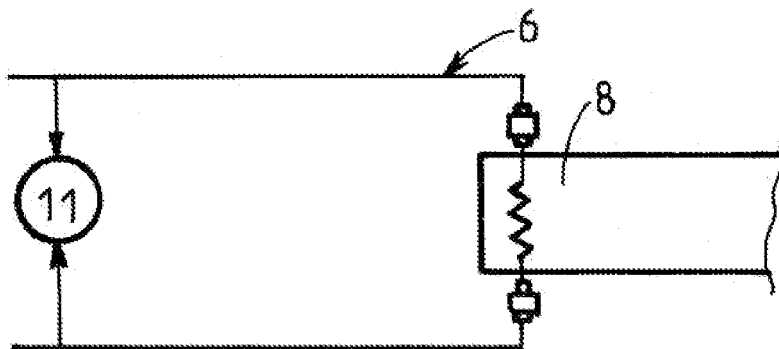
[Fig. 2]



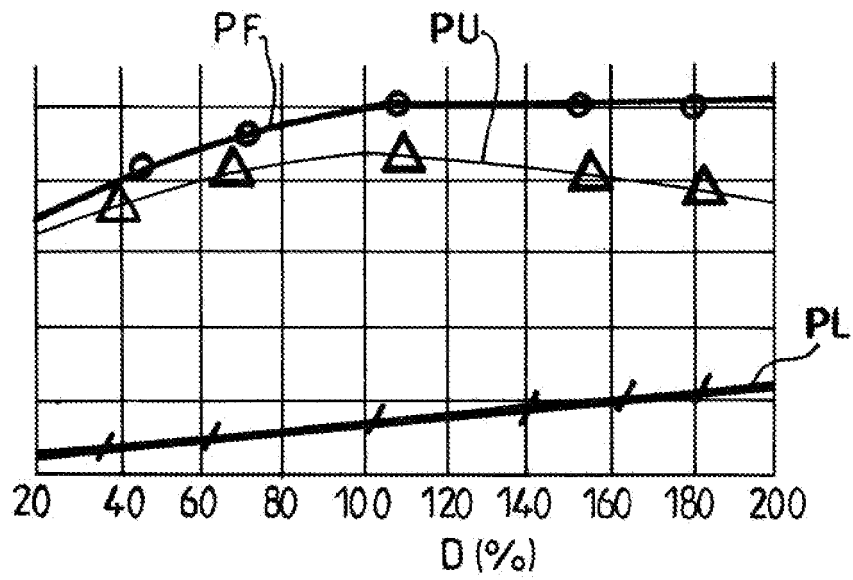
[Fig. 3]



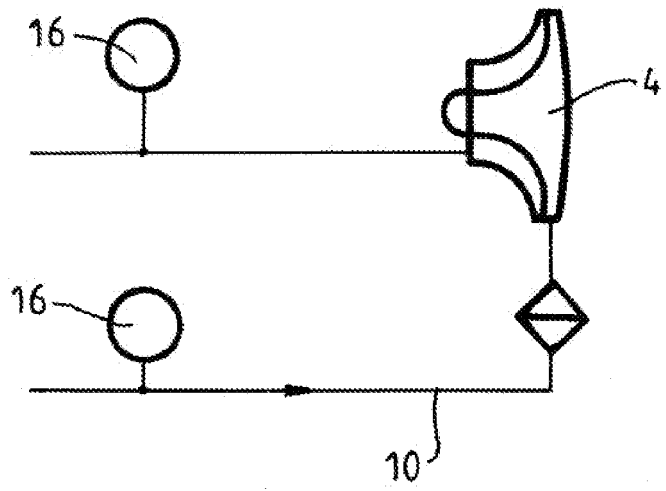
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☐ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

☒ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

NEANT

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**US 2022/260310 A1 (DURAND FABIEN [FR] ET
AL) 18 août 2022 (2022-08-18)**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT