

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
4 février 2016 (04.02.2016)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2016/016546 A1

- (51) Classification internationale des brevets :
G01F 15/08 (2006.01) *G01K 17/10* (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2015/052007
- (22) Date de dépôt international :
21 juillet 2015 (21.07.2015)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
1457345 29 juillet 2014 (29.07.2014) FR
- (71) Déposant : L'AIR LIQUIDE, SOCIÉTÉ ANONYME
POUR L'ÉTUDE ET L'EXPLOITATION DES PRO-
CEDES GEORGES CLAUDE [FR/FR]; 75 quai d'Orsay,
F-75007 Paris (FR).
- (72) Inventeur : PATHIER, Didier; 27 rue Cézanne, F-78960
Voisins Le Bretonneux (FR).
- (74) Mandataire : MELLUL-BENDELAC, Sylvie; L'air Li-
quide S.A., Direction de la Propriété Intellectuelle, 75 quai
d'Orsay, F-75321 Paris Cedex 07 (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,

AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,
MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM,
PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,
SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU,
TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU,
LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv))

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title : FLOW METER USED FOR METERING THE ENERGY APPLIED TO A METHOD EMPLOYING A CRYOGENIC FLUID

(54) Titre : DEBITMETRE UTILISE POUR LE DOSAGE DE L'ENERGIE APPORTEE A UN PROCEDE UTILISANT UN FLUIDE CRYOGENIQUE

(57) Abstract : A method of metering the energy applied to a downstream process employing a cryogenic fluid, comprising the following steps: a) separating the liquid and gas phases of the cryogenic fluid before the cryogenic fluid reaches the downstream user process. b) Measuring the mass flow rate of the gas phase. c) Calculating the energy flow rate associated with this gas flow rate by taking into consideration the variation in enthalpy of the gas between its vaporization temperature and the gas temperature recorded at the outlet of said downstream process in real time. d) Measuring the mass flow rate of the liquid phase. e) Calculating the energy flow rate associated with this liquid flow rate taking into consideration the temperature of the liquid and the vaporization energy of the liquid cryogen at this temperature, and taking into consideration in the case of the gas resulting from the vaporization of this liquid, the variation in enthalpy of this gas between its vaporization temperature and the temperature of the gas at the outlet of said downstream process in real time. f) (Re)combining the two, liquid and gas, phases of the fluid in order to allow it as this combination to be fed to said downstream user process.

(57) Abrégé : Une méthode de dosage de l'énergie apportée à un procédé aval utilisant un fluide cryogénique, comprenant les étapes suivantes: a) on sépare les phases gaz et liquide du fluide cryogénique avant l'arrivée du fluide cryogénique dans le procédé aval utilisateur. b) on mesure le débit massique de la phase gaz. c) on calcule le débit énergétique associé à ce débit de gaz en prenant en compte la variation enthalpique du gaz entre sa température de vaporisation et la température du gaz relevée en sortie dudit procédé aval en temps réel. d) on mesure le débit massique de la phase liquide. e) on calcule le débit énergétique associé à ce débit de liquide, en prenant en compte la température du liquide et l'énergie de vaporisation du cryogène liquide à cette température, et en prenant en compte, pour le gaz résultant de la vaporisation de ce liquide, la variation enthalpique de ce gaz entre sa température de vaporisation et la température du gaz en sortie dudit procédé aval en temps réel. f) on (re)mélange les deux phases liquide et gaz du fluide pour lui permettre d'aller alimenter en ce mélange ledit procédé aval utilisateur.



WO 2016/016546 A1

DEBITMETRE UTILISE POUR LE DOSAGE DE L'ENERGIE APPORTEE A UN PROCEDE UTILISANT UN FLUIDE CRYOGENIQUE

La présente invention s'intéresse aux procédés utilisant un fluide
5 cryogénique tel l'azote liquide comme source de froid. On peut citer dans ce domaine technique l'exemple de la surgélation de produits alimentaires ou encore de l'enrobage de tels produits alimentaires par voie cryogénique en baratte mais d'autres domaines que l'alimentaire mettent en œuvre un cryogène pour refroidir des produits ou pièces (mécaniques ou autres).

10 Et l'on sait que dans de tels procédés, la quantité de froid qui est apportée au procédé, via une injection d'un cryogène, d'azote liquide par exemple, est un paramètre critique du procédé. Si trop de froid ou trop peu de froid est apporté au procédé, le produit obtenu ne répondra pas au cahier des charges fixé au départ.

15 Par exemple, dans le cas de l'enrobage cryogénique de produits alimentaires, un apport trop important de froid provoque la séparation du produit d'enrobage (par exemple une sauce) que l'on retrouve en fin de cycle sous forme de poudre alors que l'on cherchait à le faire adhérer à la surface des morceaux à enrober. Dans ce cas, le produit fini ne comporte pas la dose
20 suffisante de sauce en surface, il n'est pas conforme au cahier des charges de la fabrication. A l'inverse, un apport insuffisant de froid provoque une prise en masse des produits à enrober ce qui n'est bien évidemment pas le but recherché. Dans ce cas, le produit est perdu.

On le voit donc à la lecture de ce qui précède, la maîtrise de la quantité
25 de froid (ou d'énergie) apportée au procédé utilisateur représente un critère clé pour la maîtrise et la réussite de ce type de procédé utilisateur d'un cryogène.

La présente invention s'intéresse donc également au domaine des débitmètres pour fluides diphasiques gaz/liquide.

La mesure du débit d'un fluide diphasique composé d'un liquide et d'un
30 gaz est une opération difficile lorsqu'on cherche à mesurer un débit massique. En effet, tous les capteurs mesurant un débit sont gênés lorsqu'ils sont mis en présence d'un liquide diphasique dont la densité change à tout moment.

Ceci est en particulier valable pour la mesure de débit des fluides cryogéniques comme l'azote liquide.

Considérons dans ce qui suit l'exemple de l'azote liquide comme source de froid mais les phénomènes énoncés ci-dessous peuvent aussi s'appliquer à
5 d'autres fluides frigorigènes comme le CO₂, l'hélium...etc...

i) Une méthode cryogénique simple et très répandue pour injecter une quantité donnée de froid dans un procédé est d'injecter le cryogène, par exemple l'azote liquide, à travers un orifice calibré dont on connaît précisément le débit sous des conditions données de taux de diphasique, de pression et de
10 température de l'azote liquide. Ainsi, si l'alimentation en azote liquide reste dans les mêmes conditions, une règle simple permet de relier la quantité de froid injectée au temps d'injection. Lorsqu'on double le temps d'injection, on double la quantité de froid injectée.

Cependant, la pratique a montré que ce système devient très imprécis
15 lorsque les paramètres d'état de l'azote liquide changent, ce qui est le cas dans les applications industrielles. Cela est particulièrement vrai lorsque le taux de diphasique change.

On peut alors bien entendu corriger le système en éliminant la phase gaz au moyen d'un séparateur de phase en amont du point d'injection.

20 Lorsque ce système est de plus doté d'une régulation de pression, on note alors une nette amélioration de la précision du système mais encore insuffisante pour certains procédés. En effet, lorsque la température de l'azote liquide évolue, la densité du liquide et la quantité de froid liée à l'injection d'un volume donné d'azote liquide change. Le tableau annexé en figure 1 ci-après
25 montre trois cas typiques de l'état de l'azote liquide sur des procédés industriels représentatifs.

On constate que lorsque l'azote liquide est moins froid (-179°C), il apporte moins de froid (164kJ/kg) et il est moins dense, ce qui a pour effet d'augmenter le débit passant par l'orifice calibré et compense en partie la
30 moindre quantité de froid apportée (l'azote apporte moins de froid mais le débit de l'orifice calibré est plus important). Au global, on constate que le bilan de ces deux éléments allant en sens contraire n'est pas nul.

Lorsque la pression d'équilibre passe de 0,5 à 4 bar (différence entre de l'azote dit « froid » et de l'azote dit « chaud » à 4 bar), la densité de l'azote liquide diminue de 8%, et son débit dans un orifice augmente de 4% alors que le froid apporté diminue de 15%. Le solde est donc négatif (-11.5%).

- 5 De même, lorsque la pression d'équilibre passe de 0,5 bar à 2 bar (différence entre de l'azote dit « froid » et de l'azote dit chaud » à 2 bar), le solde est de -6%.

A titre comparatif, un système injectant de l'azote liquide sans régulation de pression ni séparateur de phase peut conduire à des erreurs de dosage
10 supérieure à 50%. Le fait de séparer la phase gaz au moyen d'un séparateur et de réguler la pression permet donc une très nette amélioration de la précision du dosage. Cependant, on note ici les limites d'un système d'orifice calibré avec une régulation de pression et un séparateur de phase, qui apporte certes une certaine amélioration mais qui se révèle insuffisant dans certains cas.

- 15 Pour s'affranchir de la variation de température de l'azote liquide au point d'injection, on peut alors sous-refroidir le fluide. Pour cela, on peut utiliser par exemple un sous-refroidisseur en ligne (système installé en série sur la tuyauterie d'azote liquide reliant le stockage au point d'injection) ou sous-refroidir l'azote liquide dans la cuve de stockage. Pour cette dernière option, la
20 pression doit donc chuter régulièrement pour sous-refroidir le fluide dans la cuve (par exemple une fois par jour) puis remonter pour pouvoir alimenter le point d'injection avec une pression suffisante et constante.

Dans ce cas, le système devient précis en régime constant. En régime transitoire (début de production ou reprise de production après une phase
25 d'arrêt), l'azote liquide avec des conditions physiques bien définies au niveau de la cuve peut arriver dans des conditions différentes au point d'injection. En effet, la tuyauterie reliant la cuve et le point d'injection peut modifier significativement la température de l'azote au démarrage lorsqu'elle n'est pas encore à sa température stabilisée.

- 30 Ce système est donc globalement satisfaisant mais il comporte cependant un point freinant son utilisation : il est couteux à mettre en place car il nécessite

l'installation d'un séparateur de phase ou assez souvent l'installation de deux cuves (une à basse pression et une à la pression d'utilisation).

De plus, lorsque les paramètres du procédé utilisant l'azote liquide varient (par exemple, lorsque la température des produits alimentaires qui doivent être refroidis par l'injection d'azote liquide change), la quantité d'énergie contenue dans une masse d'azote donnée varie. En effet, si les paramètres du procédé utilisant l'azote liquide varient, bien souvent, le rendement thermique obtenu lorsque l'azote est injecté varie lui aussi. En conséquence, pour obtenir un effet thermique déterminé et constant avec un rendement différent, la quantité injectée doit être modifiée afin de compenser les fluctuations de rendement du procédé de refroidissement.

j) Outre la méthode ci-dessus utilisant un orifice calibré, une autre méthode a été proposée dans la littérature, on pourra se reporter pour l'appréhender au document EP-923 883, qui concerne l'application d'un enrobage sur des produits alimentaires, le principe de la méthode pouvant se résumer ainsi :

- on mesure la quantité de produit alimentaire à refroidir ;
- on calcule la masse de fluide cryogénique nécessaire au procédé i.e nécessaire à l'obtention d'une consigne de température pour les produits (par exemple pour faire passer le produit d'une température T1 à une température T2);
- on procède à l'introduction de la masse considérée de liquide cryogénique (mesure de la masse de fluide cryogénique) ;
- on applique une masse prédéterminée de produit d'enrobage sur les produits pour créer l'enrobage requis sur ces produits.

Bien que le document fournisse peu de détails sur ses méthodes de calcul on peut penser qu'il entend calculer l'énergie nécessaire à l'obtention de la consigne de température pour les produits et qu'il convertit cette énergie en masse de cryogène nécessaire, en utilisant un coefficient moyen, fixe et déterminé une fois pour toute et non variable en fonction des paramètres du procédé de surgélation et d'enrobage.

Par rapport à la méthode précédente, cette solution technique offre certes une amélioration dans la précision et la reproductibilité du résultat de l'évaluation. Cependant, elle présente un point faible.

En effet, le système calcule une masse de fluide cryogénique à injecter en se basant sur un rapport fixe entre la masse d'azote liquide et l'apport énergétique associé. Dans la réalité, et c'est bien souvent le cas dans les procédés industriels, ce rapport énergétique peut varier avec la température de l'azote liquide entrant dans le système mais aussi avec les paramètres du procédé de refroidissement des produits alimentaires. Avec une mesure exacte de la masse d'azote liquide injectée, on constate alors des dérives des procédés utilisateurs dues à des dérives de ces rendements thermiques du fluide cryogénique.

Ainsi, cette solution peut être insuffisamment précise dans les cas suivants :

- 15 - lorsque la pression d'alimentation en azote liquide varie. Dans ce cas, le système dose une masse d'azote liquide mais la quantité d'énergie disponible par unité de masse varie (voir le tableau présenté précédemment en figure 1, qui présente la variation d'énergie de vaporisation en fonction de la pression d'équilibre).
- 20 - lorsque la température du cryogène varie, la quantité d'énergie disponible par unité de volume d'azote liquide varie. Cette variation n'est pas prise en compte par cette solution technique.
- 25 - le document précise par ailleurs qu'un réservoir intermédiaire peut être utilisé pour doser (peser) la masse de fluide cryogénique apporté au procédé. Cette technique n'est précise que lorsque le fluide cryogénique est injecté dans le procédé utilisateur aval (par exemple une baratte) juste après son dosage. En effet, lorsque l'azote liquide est conservé dans un réservoir, même s'il est très bien isolé thermiquement, avec le temps, le fluide perd de ses propriétés réfrigérantes. Donc, si le dosage du fluide est réalisé trop
30 longtemps avant son injection, la quantité de froid injectée sera inférieure à celle voulue.

La présente invention a pour but de pallier les inconvénients précités et s'attache à cette fin à proposer une nouvelle solution de mesure précise de la quantité d'énergie apportée par un cryogène diphasique à un procédé aval utilisateur de ce cryogène.

5 Comme on le verra plus en détails dans ce qui suit, la présente invention propose de procéder aux mesures suivantes :

- on sépare les phases gaz et liquide du fluide cryogénique avant l'arrivée du fluide cryogénique dans le procédé aval utilisateur.

- on mesure le débit massique de la phase gaz (on effectue une
10 mesure massique directe ou une mesure volumique corrigée par la prise en compte de la pression et la température du gaz ce qui est connu en soi de l'homme du métier).

- on calcule le débit énergétique associé à ce débit de gaz en prenant en compte la variation enthalpique du gaz entre sa température de vaporisation
15 et la température du gaz en sortie du procédé utilisateur de refroidissement aval (par exemple de refroidissement de produits alimentaires) en temps réel.

- on mesure le débit massique de la phase liquide (on effectue une mesure massique directe ou une mesure volumique corrigée par la prise en compte de la densité ce qui est, ici encore, connu en soi de l'homme du métier).

- on calcule le débit énergétique associé à ce débit de liquide, en
20 prenant en compte la température du liquide et l'énergie de vaporisation du liquide à cette température. Considérant que ce liquide sera entièrement vaporisé, pour ce gaz vaporisé, le calcul prend aussi en compte la variation enthalpique de ce gaz entre sa température de vaporisation et la température du
25 gaz en sortie du procédé de refroidissement aval (comme pour la phase gazeuse évoquée ci-dessus).

- on (re)mélange les deux phases pour aller alimenter en ce mélange le procédé aval utilisateur.

En d'autres termes et contrairement à ce qui était pointé dans le cas de
30 l'art antérieur ci-dessus, dans le cas de la présente invention, les calculs associés à la mesure du débit de liquide cryogénique prennent en compte la température, la pression et le rapport entre la phase gazeuse et la phase liquide

de l'azote liquide, les calculs prennent aussi en compte la température de l'utilisation aval (par exemple de surgélation de produits alimentaires). Grâce à l'ensemble de ces paramètres, le système peut associer une valeur énergétique et un rendement de refroidissement à une masse d'azote liquide.

- 5 Il peut donc mesurer et doser avec une très grande précision l'apport énergétique de l'azote liquide circulant dans le système (et non pas l'apport massique d'azote liquide).

On parle dans ce qui précède d'azote liquide pour fixer les idées mais on l'a déjà signalé toute cette description s'applique également à d'autres
10 cryogènes de refroidissement tels le CO₂.

On obtient ainsi une mesure très précise de la quantité d'énergie apportée par les phases gaz et liquide du cryogène. Contrairement aux solutions de l'art antérieur, cette mesure reste juste même lorsque la pression, la température et le taux de diphasique du fluide varient, que l'azote liquide soit
15 sous-refroidi ou non.

Comme on l'a dit, un autre élément important est la prise en compte ici de la température du cryogène. Avec les solutions de l'art antérieur, la température du cryogène n'est pas prise en compte. Dans beaucoup de cas, cette température est constante et cela ne joue pas sur la précision de la mesure. Par
20 contre, lorsque la température du cryogène varie, alors la quantité d'énergie apportée par une masse donnée d'azote liquide dans des conditions de pression et de température données varie elle aussi. Si la température du cryogène diminue la quantité d'énergie disponible dans l'azote liquide sera automatiquement plus importante.

25 Le système proposé ici tient compte de la température du cryogène et de ce phénomène. Ainsi, la mesure de l'énergie apportée reste juste même lorsque la température varie.

En d'autres termes, selon la présente invention :

- on dispose du débit massique de la phase gaz (que ce soit par une
30 mesure directe ou bien par une conversion d'un débit volumique) ;
- on convertit ce débit massique en énergie en utilisant des tables et en tenant compte de la variation enthalpique du gaz entre sa température de

vaporisation et la température du gaz en sortie du procédé de refroidissement utilisateur en temps réel (la figure 2 annexée fournit un exemple de table de calcul de l'énergie de l'azote gazeux dans le cas d'un procédé aval qui est un procédé de surgélation).

- 5 - on dispose du débit massique de la phase liquide (que ce soit par une mesure directe ou bien par une conversion d'un débit volumique) ;
- on convertit ce débit massique en énergie en utilisant des tables et en prenant en compte la température du liquide et l'énergie de vaporisation de l'azote liquide à cette température, ainsi que la variation enthalpique du gaz
- 10 résultant de la vaporisation de ce liquide entre sa température de vaporisation et la température du gaz en sortie du procédé de refroidissement utilisateur aval en temps réel (la figure 3 annexée fournit un exemple de table de calcul de l'énergie de l'azote liquide dans le cas d'un procédé aval qui est un procédé de surgélation).
- 15 La présente invention concerne alors une méthode de dosage de l'énergie apportée à un procédé aval utilisant un fluide cryogénique, comprenant les étapes suivantes :
- a) on sépare les phases gaz et liquide du fluide cryogénique avant l'arrivée du fluide cryogénique dans le procédé aval utilisateur.
- 20 b) on mesure le débit massique de la phase gaz.
- c) on calcule le débit énergétique associé à ce débit de gaz en prenant en compte la variation enthalpique du gaz entre sa température de vaporisation et la température du gaz relevée en sortie dudit procédé aval en temps réel.
- d) on mesure le débit massique de la phase liquide.
- 25 e) on calcule le débit énergétique associé à ce débit de liquide, en prenant en compte la température du liquide et l'énergie de vaporisation du cryogène liquide à cette température, et en prenant en compte, pour le gaz résultant de la vaporisation de ce liquide, la variation enthalpique de ce gaz entre sa température de vaporisation et la température du gaz en sortie dudit
- 30 procédé aval en temps réel.
- f) on (re)mélange les deux phases liquide et gaz du fluide pour lui permettre d'aller alimenter en ce mélange ledit procédé aval utilisateur.

La présente invention concerne également un débitmètre pour fluides diphasiques cryogéniques liquide/gaz, apte à mesurer l'énergie apportée par le fluide cryogénique transitant par le débitmètre pour alimenter un procédé aval utilisant ce fluide cryogénique, comprenant :

- 5 - un séparateur de phases, apte à séparer les phases gaz et liquide du fluide cryogénique parvenant au débitmètre.
- un capteur de débit gazeux, apte à mesurer le débit massique de la phase gaz séparée.
- un capteur de débit liquide, apte à mesurer le débit massique de la
10 phase liquide séparée.
- une unité d'acquisition et de traitement de données, apte :
 - à calculer le débit énergétique associé au débit de gaz mesuré par
15 ledit capteur de débit gazeux, en prenant en compte la variation enthalpique du gaz entre sa température de vaporisation et la température du gaz relevée en sortie dudit procédé aval en temps réel, et
 - à calculer le débit énergétique associé au débit de liquide mesuré par
le dit capteur de débit liquide, en prenant en compte la température du liquide et
l'énergie de vaporisation du cryogène liquide à cette température, et en prenant
20 en compte, pour le gaz résultant de la vaporisation de ce liquide, la variation enthalpique de ce gaz entre sa température de vaporisation et la température du gaz en sortie dudit procédé aval en temps réel ;
 - et à déduire l'énergie apportée par le fluide cryogénique transitant par le débitmètre par la somme des deux débits énergétiques précités.
 - des moyens permettant de (re)mélanger les deux phases liquide et
25 gaz du fluide.

Les essais menés par la Demanderesse à l'aide d'un système (méthode et débitmètre) conforme à l'invention pour la mesure d'un débit énergétique d'azote liquide alimentant un procédé utilisateur aval ont montré qu'il était possible d'obtenir une mesure précise du débit énergétique quels que soient le
30 taux de diphasique du fluide, sa pression, sa température, que le fluide soit sous-refroidi ou non.

Et ces essais ont également démontré que la mesure d'énergie effectuée selon l'invention permettait d'être utilisée dans une approche globale de contrôle/régulation du procédé aval utilisateur :

- considération d'une consigne d'énergie (besoin de froid) nécessaire au procédé utilisateur ;
- mesure de l'énergie apportée par le fluide grâce à l'invention ;
- rétroaction sur les moyens d'injection de cryogène dans le procédé pour maintenir l'énergie au niveau de la consigne.

Et ceci se révèle tout à fait avantageux dans le cas d'un procédé utilisateur fonctionnant par cycles avec des besoins en froid variables d'un cycle à l'autre, avec des caractéristiques de l'azote liquide qui peuvent (et vont inévitablement varier) d'un cycle à l'autre, le système proposé permettra alors de garder la totale maîtrise des conditions d'alimentation du procédé utilisateur aval, ce qui n'était pas le cas avec les techniques de l'art antérieur citées plus haut.

Comme on l'aura compris à la lecture de ce qui précède, si l'invention a tout particulièrement été expliquée et exemplifiée ci-dessus pour le cas de l'azote liquide, elle trouve son application pour d'autres fluides frigorigènes et notamment le CO₂.

20

25

Revendications

1. Méthode de dosage de l'énergie apportée à un procédé aval utilisant
5 un fluide cryogénique, comprenant les étapes suivantes :
- a) on sépare les phases gaz et liquide du fluide cryogénique avant l'arrivée du fluide cryogénique dans le procédé aval utilisateur.
 - b) on mesure le débit massique de la phase gaz.
 - c) on calcule le débit énergétique associé à ce débit de gaz en prenant en
10 compte la variation enthalpique du gaz entre sa température de vaporisation et la température du gaz relevée en sortie dudit procédé aval en temps réel.
 - d) on mesure le débit massique de la phase liquide.
 - e) on calcule le débit énergétique associé à ce débit de liquide, en prenant en compte la température du liquide et l'énergie de vaporisation du
15 cryogène liquide à cette température, et en prenant en compte, pour le gaz résultant de la vaporisation de ce liquide, la variation enthalpique de ce gaz entre sa température de vaporisation et la température du gaz en sortie dudit procédé aval en temps réel.
 - f) on (re)mélange les deux phases liquide et gaz du fluide pour lui
20 permettre d'aller alimenter en ce mélange ledit procédé aval utilisateur.
2. Débitmètre pour fluides diphasiques cryogéniques liquide/gaz, apte à mesurer l'énergie apportée par le fluide cryogénique transitant par le débitmètre pour alimenter un procédé aval utilisant ce fluide cryogénique,
25 comprenant :
- un séparateur de phases, apte à séparer les phases gaz et liquide du fluide cryogénique parvenant au débitmètre.
 - un capteur de débit gazeux, apte à mesurer le débit massique de la phase gaz séparée.
 - 30 - un capteur de débit liquide, apte à mesurer le débit massique de la phase liquide séparée.
 - une unité d'acquisition et de traitement de données, apte :

- à calculer le débit énergétique associé au débit de gaz mesuré par ledit capteur de débit gazeux, en prenant en compte la variation enthalpique du gaz entre sa température de vaporisation et la température du gaz relevée en sortie dudit procédé aval en temps réel, et
- 5 - à calculer le débit énergétique associé au débit de liquide mesuré par le dit capteur de débit liquide, en prenant en compte la température du liquide et l'énergie de vaporisation du cryogène liquide à cette température, et en prenant en compte, pour le gaz résultant de la vaporisation de ce liquide, la variation enthalpique de ce gaz entre sa température de vaporisation et la température du
- 10 gaz en sortie dudit procédé aval en temps réel ;
- et à déduire l'énergie apportée par le fluide cryogénique transitant par le débitmètre par la somme des deux débits énergétiques précités.
- des moyens permettant de (re)mélanger les deux phases liquide et gaz du fluide.

Etat de l'azote liquide dans la cuve	Pression d'équilibre (barg)	Température d'équilibre (°C)	Densité (kg/m³)	Froid absorbé par la vaporisation (kJ/kg)
Azote liquide venant d'être livré (azote dit « froid »)	0.5	-192	790	192
Azote liquide en équilibre à 2 bar (azote dit « chaud » en fin de cuve à 2 bar)	2	-185	756 (-4%)	177 (-8%)
Azote liquide en équilibre à 4 bar (azote dit « chaud » en fin de cuve à 4 bar)	4	-179	724 (-8%)	164 (-15%)

Figure 1

Pression (barg)	Température de vaporisation (°C)	Température du gaz en sortie du procédé de surgélation (°C)	Energie totale disponible (J/kg)
1	-189.52	-150	44.983
1	-189.52	-100	97.443
1	-189.52	-50	149.633
1	-189.52	0	201.723
2	-185.24	-150	42.541
2	-185.24	-100	95.001
2	-185.24	-50	147.191
2	-185.24	0	199.281
3	-181.92	-150	40.996
3	-181.92	-100	93.456
3	-181.92	-50	145.646
3	-181.92	0	197.736
4	-179.15	-150	39.977
4	-179.15	-100	92.437
4	-179.15	-50	144.627
4	-179.15	0	196.717
5	-176.77	-150	39.313
5	-176.77	-100	91.773
5	-176.77	-50	143.963
5	-176.77	0	196.053
6	-174.66	-150	38.908
6	-174.66	-100	91.368
6	-174.66	-50	143.558
6	-174.66	0	195.648

Figure 2

Pression (barg)	Température de vaporisation (°C)	Température du gaz en sortie du procédé de surgélation (°C)	Energie de vaporisation disponible (J/kg)	Energie disponible dans le gaz (J/kg)	Energie totale disponible (J/kg)
1	-189.52	-150	190.557	44.983	235.54
1	-189.52	-100	190.557	97.443	288
1	-189.52	-50	190.557	149.633	340.19
1	-189.52	0	190.557	201.723	392.28
2	-185.24	-150	183.959	42.541	226.5
2	-185.24	-100	183.959	95.001	278.96
2	-185.24	-50	183.959	147.191	331.15
2	-185.24	0	183.959	199.281	383.24
3	-181.92	-150	178.354	40.996	219.35
3	-181.92	-100	178.354	93.456	271.81
3	-181.92	-50	178.354	145.646	324
3	-181.92	0	178.354	197.736	376.09
4	-179.15	-150	173.323	39.977	213.3
4	-179.15	-100	173.323	92.437	265.76
4	-179.15	-50	173.323	144.627	317.95
4	-179.15	0	173.323	196.717	370.04
5	-176.77	-150	168.667	39.313	207.98
5	-176.77	-100	168.667	91.773	260.44
5	-176.77	-50	168.667	143.963	312.63
5	-176.77	0	168.667	196.053	364.72
6	-174.66	-150	164.277	38.908	203.185
6	-174.66	-100	164.277	91.368	255.645
6	-174.66	-50	164.277	143.558	307.835
6	-174.66	0	164.277	195.648	359.925

Figure 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2015/052007

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01F15/08 G01K17/10
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01F G01K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 667 510 A1 (BOC GROUP PLC [GB]) 16 August 1995 (1995-08-16) figure 1 page 2, line 1 - line 8 page 3, line 31 - line 35 -----	1,2
X	US 6 228 172 B1 (TAYLOR ROBERT [BE] ET AL) 8 May 2001 (2001-05-08) figure 1 claims 3, 4 -----	1,2
A	US 2004/221660 A1 (DUTTON ROBERT E [US] ET AL) 11 November 2004 (2004-11-11) figure 9 paragraph [0065] paragraph [0069] ----- -/-	1,2



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

2 November 2015

Date of mailing of the international search report

11/11/2015

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Rambaud, Patrick

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2015/052007

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	GB 1 208 121 A (BRITISH OXYGEN CO LTD [GB]) 7 October 1970 (1970-10-07) figure 1 claim 1 -----	1,2
A	WO 02/057697 A1 (PRAXAIR TECHNOLOGY INC [US]) 25 July 2002 (2002-07-25) figure 1 page 14, line 16 - page 15, line 3 -----	1,2
A	FR 3 000 199 A1 (AIR LIQUIDE [FR]) 27 June 2014 (2014-06-27) abstract figure 4 -----	1,2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2015/052007

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0667510	A1	16-08-1995	AU 691220 B2 14-05-1998
		AU 1144595 A 24-08-1995	
		CA 2140180 A1 15-08-1995	
		DE 69425726 D1 05-10-2000	
		DE 69425726 T2 12-04-2001	
		EP 0667510 A1 16-08-1995	
		GB 2286463 A 16-08-1995	
		US 5679905 A 21-10-1997	
		ZA 9500839 A 07-02-1996	

US 6228172	B1	08-05-2001	NONE

US 2004221660	A1	11-11-2004	CA 2524512 A1 18-11-2004
		DE 112004000752 T5 27-07-2006	
		MX PA05011499 A 15-12-2005	
		US 2004221660 A1 11-11-2004	
		US 2006123923 A1 15-06-2006	
		WO 2004099731 A2 18-11-2004	

GB 1208121	A	07-10-1970	NONE

WO 02057697	A1	25-07-2002	BR 0206527 A 17-02-2004
		CA 2435214 A1 25-07-2002	
		CN 1498332 A 19-05-2004	
		EP 1352201 A1 15-10-2003	
		JP 2004523228 A 05-08-2004	
		KR 20030070112 A 27-08-2003	
		MX PA03006388 A 15-10-2003	
		US 2002162349 A1 07-11-2002	
		WO 02057697 A1 25-07-2002	

FR 3000199	A1	27-06-2014	FR 3000199 A1 27-06-2014
		WO 2014096593 A1 26-06-2014	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2015/052007

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01F15/08 G01K17/10 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G01F G01K		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	EP 0 667 510 A1 (BOC GROUP PLC [GB]) 16 août 1995 (1995-08-16) figure 1 page 2, ligne 1 - ligne 8 page 3, ligne 31 - ligne 35 -----	1,2
X	US 6 228 172 B1 (TAYLOR ROBERT [BE] ET AL) 8 mai 2001 (2001-05-08) figure 1 revendications 3, 4 -----	1,2
A	US 2004/221660 A1 (DUTTON ROBERT E [US] ET AL) 11 novembre 2004 (2004-11-11) figure 9 alinéa [0065] alinéa [0069] ----- -/-	1,2
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 2 novembre 2015		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 11/11/2015
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Rambaud, Patrick

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	GB 1 208 121 A (BRITISH OXYGEN CO LTD [GB]) 7 octobre 1970 (1970-10-07) figure 1 revendication 1 -----	1,2
A	WO 02/057697 A1 (PRAXAIR TECHNOLOGY INC [US]) 25 juillet 2002 (2002-07-25) figure 1 page 14, ligne 16 - page 15, ligne 3 -----	1,2
A	FR 3 000 199 A1 (AIR LIQUIDE [FR]) 27 juin 2014 (2014-06-27) abrégé figure 4 -----	1,2

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2015/052007

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0667510	A1	16-08-1995	AU 691220 B2 14-05-1998
		AU 1144595 A 24-08-1995	
		CA 2140180 A1 15-08-1995	
		DE 69425726 D1 05-10-2000	
		DE 69425726 T2 12-04-2001	
		EP 0667510 A1 16-08-1995	
		GB 2286463 A 16-08-1995	
		US 5679905 A 21-10-1997	
		ZA 9500839 A 07-02-1996	
US 6228172	B1	08-05-2001	AUCUN
US 2004221660	A1	11-11-2004	CA 2524512 A1 18-11-2004
		DE 112004000752 T5 27-07-2006	
		MX PA05011499 A 15-12-2005	
		US 2004221660 A1 11-11-2004	
		US 2006123923 A1 15-06-2006	
		WO 2004099731 A2 18-11-2004	
GB 1208121	A	07-10-1970	AUCUN
WO 02057697	A1	25-07-2002	BR 0206527 A 17-02-2004
		CA 2435214 A1 25-07-2002	
		CN 1498332 A 19-05-2004	
		EP 1352201 A1 15-10-2003	
		JP 2004523228 A 05-08-2004	
		KR 20030070112 A 27-08-2003	
		MX PA03006388 A 15-10-2003	
		US 2002162349 A1 07-11-2002	
		WO 02057697 A1 25-07-2002	
FR 3000199	A1	27-06-2014	FR 3000199 A1 27-06-2014
		WO 2014096593 A1 26-06-2014	