



(51) Classification internationale des brevets :
F25J 1/00 (2006.01) F25J 1/02 (2006.01)

SILLA, Anna; 8 rue Masseran, 75007 Paris (FR).
DROUET, Emeline; 14 rue Envierges, 75020 Paris (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2016/053523

(74) Mandataire : NOVAGRAAF TECHNOLOGIES; Bâtiment O2, 2 rue Sarah Bernhardt, CS90017, 92665 Asnières-Sur-Seine Cedex (FR).

(22) Date de dépôt international :
16 décembre 2016 (16.12.2016)

(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, DJ, 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, KH, KN, KP, KR, KW, 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.

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1562705 17 décembre 2015 (17.12.2015) FR
1650632 26 janvier 2016 (26.01.2016) FR

(71) Déposant : ENGIE [FR/FR]; 1 Place Samuel De Champlain, 92400 Courbevoie (FR).

(72) Inventeurs : BENOIT, Laurent; 136 rue Championnet, 75018 Paris (FR). FAURE-BRAC, Denis; 5 rue François Jacob, 92500 Rueil Malmaison (FR). TORRES-MAN-

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : HYBRID METHOD FOR LIQUEFYING A FUEL GAS AND FACILITY FOR IMPLEMENTING SAME

(54) Titre : PROCÉDÉ HYBRIDE DE LIQUÉFACTION D'UN GAZ COMBUSTIBLE ET INSTALLATION POUR SA MISE EN ŒUVRE

(57) Abstract : The present invention relates to a method for liquefying a fuel gas with a high methane content, which is a method that is a hybrid between an expansion method and a conventional open-cycle method. More specifically, the method according to the invention first of all compresses the cold medium then, in a first stage, uses the vaporisation thereof as cooling power and in a second stage expands to generate additional cold. The present invention also relates to a method for implementing the method according to the invention.

(57) Abrégé : La présente invention concerne un procédé de liquéfaction d'un gaz combustible à forte teneur en méthane, qui est un procédé hybride entre un procédé à détente et un procédé à cycle ouvert classique. Plus précisément, le procédé selon l'invention comprime en premier lieu le médium de froid puis, dans un premier temps, utilise sa vaporisation comme pouvoir refroidissant, et le détend dans un deuxième temps pour générer du froid supplémentaire. La présente invention concerne également un procédé permettant la mise en œuvre du procédé selon l'invention.

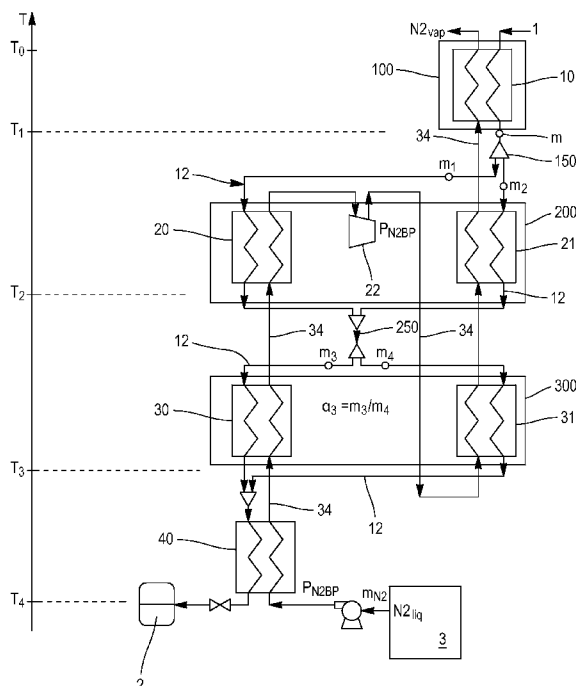


FIG. 1



(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), eurasién (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).

Publiée :

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- avec revendications modifiées (art. 19.1))

Date de publication des revendications modifiées :

10 août 2017

REVENDEICATIONS MODIFIÉES
reçues par le Bureau international le 12.Jun.2017 (12.06.2017)

1. Procédé de liquéfaction d'un gaz combustible comprenant majoritairement du méthane, dans lequel ledit
5 gaz combustible circule dans un circuit primaire (12) depuis une source de gaz combustible (1) vers un réservoir pour gaz liquéfié (2), et un réfrigérant constitué d'azote se trouvant à l'état liquide ou au moins partiellement vaporisé circule dans un circuit secondaire (34) ouvert
10 depuis un réservoir d'azote (3) pour être relâché vers l'atmosphère (4), ledit procédé comprenant les phases suivantes :

- une phase de pré-refroidissement (1000) au cours de laquelle le gaz combustible de débit initial m est
15 refroidi de la température ambiante T_0 à une température de pré-refroidissement T_1 supérieure à la température de rosée T_2 du gaz combustible, cette phase de pré-refroidissement étant réalisée par échange thermique avec l'azote se trouvant à l'état vaporisé
20 et à basse pression et circulant à contre-courant du flux de gaz combustible dans au moins un échangeur thermique (10) d'une zone d'échange thermique (100) de pré-refroidissement ;
- une première phase de redistribution (1050) du gaz
25 combustible à la sortie de la zone d'échange thermique (100) de pré-refroidissement, en deux sous-flux de débits respectifs m_1 et $m_2 = m - m_1$, cette première phase de redistribution (1050) étant réalisée dans une première zone de distribution intermédiaire (150),
30 puis
- une phase de refroidissement (2000) au cours de laquelle le gaz combustible est refroidi depuis la

- température de pré-refroidissement T_1 jusqu'à la température de rosée T_2 du gaz combustible, cette phase de refroidissement étant réalisée dans une zone d'échange thermique (200) de refroidissement
- 5 comprenant un échangeur thermique (20) et un échangeur annexe (21), selon les étapes suivantes :
- o injecter (2001) le sous-flux de débit m_1 dans l'échangeur thermique (20) et injecter (2002) le sous-flux de gaz de débit m_2 dans
 - 10 l'échangeur annexe (21), l'azote vaporisé circulant à contre-courant du flux de gaz combustible dans chacun des échangeurs (20, 21) de la zone d'échange thermique (200) de refroidissement ;
 - 15 o à la température de rosée T_2 du gaz combustible, réunir (2003) en un seul flux de débit m les deux sous-flux de gaz combustible de débits respectifs m_1 et m_2 sortant respectivement de chacun des
 - 20 échangeurs (20, 21) de la zone d'échange thermique (200) de refroidissement ;
- une phase de liquéfaction complète (3000) au cours de laquelle le flux unique de gaz combustible sortant de la zone d'échange thermique (200) de refroidissement
 - 25 est complètement liquéfié par refroidissement jusqu'à une température T_3 au moins aussi basse que la température bulle du gaz combustible ; cette phase de liquéfaction complète (3000) étant réalisée dans une zone d'échange thermique (300) de
 - 30 liquéfaction comprenant au moins un échangeur thermique (30) ;

- une phase de sous-refroidissement (4000) au cours de laquelle le gaz combustible liquéfié sortant de la zone d'échange thermique (300) de liquéfaction est sous-refroidi de la température T_3 jusqu'à une température de sous-refroidissement T_4 , cette phase de sous-refroidissement (4000) étant réalisée dans une zone d'échange thermique (400) de sous-refroidissement comprenant au moins un échangeur thermique (40) par échange thermique avec l'azote provenant du réservoir d'azote liquide (3) et circulant à contre-courant du flux de gaz combustible ;

ledit procédé étant caractérisé en ce qu'il comporte en outre, entre les phases de refroidissement (2000) et de liquéfaction complète (3000), une deuxième phase de redistribution (2050) du flux de gaz combustible de débit m sortant de la zone d'échange thermique (200) de refroidissement, en deux sous-flux de débits respectifs m_3 et $m_4 = m - m_3$; cette deuxième phase de redistribution (2050) étant réalisée dans une deuxième zone de distribution intermédiaire (250) ; et

en ce que ledit procédé comporte une étape supplémentaire consistant à détendre (2004) dans une turbine (22) l'azote vaporisé à la sortie de l'échangeur thermique (20) de la zone d'échange thermique (200) de refroidissement ; puis on réinjecte l'azote vaporisé et détendu dans l'échangeur thermique annexe 31 ; et

en ce que la phase de liquéfaction complète (3000) comprend en outre des étapes intermédiaires supplémentaires (3004, 3005, 3006, 3007) entre la température de rosée T_2 du gaz combustible et la température T_3 :

- on injecte (3004) le sous-flux de débit m_3 dans l'échangeur thermique (30) de la zone d'échange thermique (300) de liquéfaction pour le liquéfier complètement et le refroidir jusqu'à la température T_3 ,
5 en y faisant circuler à contre-courant l'azote au moins partiellement vaporisé sortant de la zone d'échange thermique (400) de sous-refroidissement ;
- on injecte (3005) le sous-flux de débit m_4 dans un échangeur thermique annexe (31) de la zone d'échange
10 thermique (300) de liquéfaction pour le liquéfier complètement et le refroidir jusqu'à la température T_3 , en y faisant circuler, à contre-courant du gaz combustible, le flux d'azote sortant de la turbine (22) ;
- 15 • à la température T_3 du gaz combustible, on réunit (3006) les deux sous-flux de gaz combustible de débits respectifs m_3 et m_4 sortant respectivement de chacun des échangeurs thermiques (30, 31) de la zone d'échange thermique (300) de liquéfaction, pour les réinjecter
20 dans la zone d'échange thermique (400) de sous-refroidissement.

2. Procédé selon la revendication 1, selon lequel :

- le débit m_1 du sous-flux de gaz combustible injecté
25 dans l'échangeur thermique (20) de la zone d'échange thermique (200) de refroidissement représente au moins 80%, et de préférence au moins 85% du débit initial m de gaz combustible ; et
- le débit m_3 du sous-flux de gaz combustible injecté
30 dans l'échangeur thermique (30) de la zone d'échange thermique (300) de liquéfaction représente au moins

60% du débit initial m de gaz combustible, et au plus la valeur de m_1 .

3. Procédé selon les revendications 1 ou 2, selon
5 lequel l'azote liquide provenant du réservoir d'azote liquide (3) est pompé à une pression d'au moins 1,2 MPa.

4. Procédé selon la revendication 1, selon lequel
10 l'azote au moins partiellement vaporisé à la sortie de l'échangeur thermique (20) de la zone d'échange thermique (200) de refroidissement est détendu, dans la turbine (22), à une pression égale ou inférieure à 0,2 MPa.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications
15 1 à 4, dans lequel le gaz à liquéfier contient du méthane en une proportion molaire d'au moins 80%.

6. Installation de liquéfaction d'un gaz combustible pour la mise en œuvre du procédé tel que défini selon l'une
20 quelconque des revendications 1 à 5, ladite installation comprenant un circuit primaire (12) relié à une source (1) de gaz combustible et à un réservoir pour gaz liquéfié (2), un circuit secondaire (34) ouvert relié à un réservoir d'azote liquide (3), et quatre zones d'échange thermiques
25 (100, 200, 300, 400) disposées en cascade pour refroidir et liquéfier le gaz combustible circulant dans le circuit primaire (12), chacune desdites zones thermiques (100, 200, 300, 400) étant traversée par les circuits primaire (12) et secondaire (34) disposés de manière que le gaz
30 combustible et l'azote y circulent à contre-courant selon la configuration suivante :

- une zone d'échange thermique (100) de pré-refroidissement comprenant au moins un échangeur thermique (10),
- 5 - une zone d'échange thermique (200) de refroidissement comprenant un échangeur thermique (20) et un échangeur annexe (21), la zone d'échange thermique (200) de refroidissement étant reliée, dans le circuit primaire (12), à la zone d'échange thermique
10 (100) de pré-refroidissement par
- une première zone de distribution intermédiaire (150) apte à distribuer, à la sortie de la zone d'échange thermique (100) de pré-refroidissement, le gaz combustible en deux
15 sous-flux de débits respectifs m_1 et $m_2 = m - m_1$, et à les injecter respectivement dans l'échangeur thermique (20) et l'échangeur annexe (21) de la zone d'échange thermique (200) de refroidissement,
- 20 - une zone d'échange thermique (300) de liquéfaction comprenant au moins un échangeur thermique (30), et
- une zone d'échange thermique (400) de sous-refroidissement comprenant au moins un échangeur
25 thermique (40),

ladite installation étant caractérisée en ce qu'elle comporte en outre :

- un échangeur thermique annexe (31) dans la zone d'échange thermique (300) de liquéfaction,
- 30 - une turbine (22) disposée, dans le circuit secondaire (34), entre la sortie de l'échangeur thermique (20) de la zone d'échange thermique

(200) de refroidissement et l'entrée de l'échangeur thermique annexe (31) de la zone d'échange thermique (300) de liquéfaction, pour y détendre et refroidir l'azote au moins partiellement vaporisé sortant de l'échangeur thermique (20) de la zone d'échange thermique (200) de refroidissement avant de l'injecter dans l'échangeur thermique annexe (31) de la zone d'échange thermique (300) de liquéfaction,

5

10 - une deuxième zone de distribution intermédiaire (250) reliant, dans le circuit primaire (12), les zones d'échange thermique (200) de refroidissement et (300) de liquéfaction, la deuxième zone de distribution intermédiaire (250) étant apte à réunir en un seul flux les deux sous-flux de gaz combustible sortant des échangeurs thermiques (20, 21) de la zone d'échange thermique (200) de refroidissement et à les redistribuer en deux autres sous-flux de gaz combustible de débits respectifs m_3 et $m_4 = m - m_3$ pour les injecter respectivement dans l'échangeur thermique (30) et l'échangeur thermique annexe (31) de la zone d'échange thermique (300) de liquéfaction, l'azote détendu et refroidi provenant de la turbine (22) circulant dans l'échangeur thermique annexe (31) à contre-courant du sous-flux de gaz de débit m_4 .

15

20

25