

(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
20 novembre 2008 (20.11.2008)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2008/139085 A2

(51) Classification internationale des brevets :
F25J 3/02 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2008/050575

(22) Date de dépôt international : 2 avril 2008 (02.04.2008)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0754462 13 avril 2007 (13.04.2007) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : L'AIR
LIQUIDE SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE
ET L'EXPLOITATION DES PROCÉDES GEORGES
CLAUDE [FR/FR]; 75 quai d'Orsay, F-PARIS 75007
(FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : COURT,
Philippe [FR/FR]; 33 rue d'Avron, F-75020 Paris (FR).

HERNANDEZ, Antoine [FR/FR]; 1 Ter, avenue Ardouin,
F-94420 Le Plessis-trevice (FR). MONEREAU, Christian
[FR/FR]; 159, rue de Charonne, F-75011 Paris (FR).

(74) Mandataire : MERCEY, Fiona; c/o L'air Liquide SA,
Direction 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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK,
LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW,
MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL,
PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY,
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,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD FOR COOLING A CRYOGENIC EXCHANGE LINE

(54) Titre : PROCÉDÉ DE MISE EN FROID D'UNE LIGNE D'ÉCHANGE CRYOGÉNIQUE

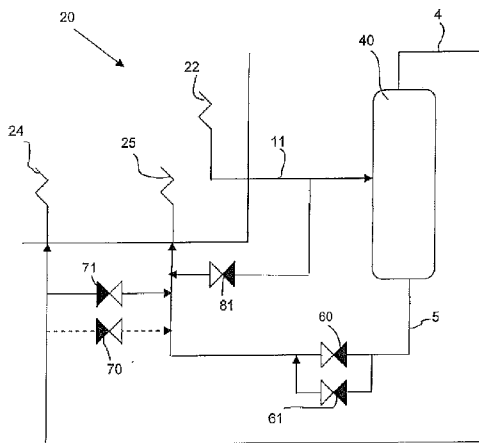


FIG. 2

(57) Abstract: The invention relates to a method for the cryogenic separation, the cooling or the liquefaction of a fluid using an exchange line, that comprises extracting from said exchange line at least one dual phase fluid (11), separating said dual phase fluid into at least one vapour fraction (4) and one liquid fraction (5) in a phase separator (40), expanding at least one portion of the liquid fraction (5) using a first expansion means (60, 90), reinjecting, reheating and at least partially vaporising said expanded liquid fraction in the exchange line, the first expansion means being a valve, wherein during the cooling of said exchange line, at least a fraction of the fluid extracted from the exchange line (2, 4 or 5) and/or from the phase separator (40) is expanded in second expansion means (61, 71, 81, 91) parallel to the first expansion means (6), while during a normal operation, the second expansion means is essentially closed.

[Suite sur la page suivante]

WO 2008/139085 A2



GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport*

(57) Abrégé : Un procédé de séparation cryogénique, de réfrigération ou de liquéfaction d'un fluide au moyen d'une ligne d'échange comprend l'extraction de la dite ligne d'échange d'au moins un fluide diphasique (11), la séparation du dit fluide diphasique en au moins une fraction vapeur (4) et une fraction liquide (5) dans un séparateur de phases (40), la détente d'au moins une partie de la dite fraction liquide (5) au moyen d'un premier moyen de détente (60, 90), la réinjection, le réchauffement et la vaporisation au moins partielle de la dite fraction liquide détendue dans la ligne d'échange, le premier moyen de détente étant une vanne, lors de la mise en froid de la dite ligne d'échange, une fraction au moins du fluide extrait de la ligne d'échange (2, 4 ou 5) et/ou du séparateur de phases (40) est détendue dans un deuxième moyen de détente (61, 71, 81, 91) en parallèle avec le premier moyen de détente(60) et en fonctionnement normal le deuxième moyen de détente est essentiellement fermé.

Procédé de mise en froid d'une ligne d'échange cryogénique

La présente invention est relative à une ligne d'échange et à un procédé de mise en froid d'une telle ligne d'échange.

Il est connu d'utiliser la cryogénie pour fractionner un flux gazeux en au moins deux fluides de composition différente, généralement en un fluide dit léger, c'est à dire composé essentiellement des constituants les plus volatils et en un fluide dit lourd constitué essentiellement par les constituants les plus facilement condensables. Pour ce faire, le mélange à fractionner est refroidi dans un échangeur ou dans un ensemble d'échangeurs appelé ligne d'échange jusqu'à l'obtention d'un mélange diphasique liquide/vapeur extrait de la dite ligne d'échange et séparé dans un dispositif de séparation liquide – vapeur. La vapeur peut être refroidie de nouveau jusqu'à l'obtention d'un nouvel état diphasique et fractionnée une seconde fois.

A titre d'exemple, on citera le fractionnement d'un flux d'hydrocarbures ($C_1, C_2, \dots, C_i, C_{i+1}, \dots, C_n$) en un fluide constitué essentiellement des hydrocarbures les plus légers (méthane C_1 , éthane C_2, \dots, C_i) et en un deuxième fluide constitué essentiellement des hydrocarbures les plus lourds (C_{i+1}, \dots, C_n). On utilise le terme « essentiellement » pour signifier qu'on retrouvera généralement une petite fraction des composés les plus légers dans la fraction lourde et inversement une petite partie des composés les plus lourds dans la fraction vapeur.

On peut améliorer cette séparation en mettant des plateaux dans le système de séparation diphasique et en rajoutant un rebouillage et/ou une section d'épuisement dit « stripping » en anglais) pour éliminer les légers de la fraction liquide et/ou un condenseur et/ou en augmentant le reflux pour éliminer les lourds de la fraction vapeur. Ces procédés sont connus de l'homme de l'art et ne sont pas développés dans la présente invention. Par la suite, on parlera de séparateur liquide-vapeur pour englober tous les équipements générant au moins une sortie liquide et une sortie gazeuse à partir d'au moins une alimentation diphasique. Ces équipements peuvent être du type séparateur par gravité vertical ou horizontal, équipé ou pas de dévésiculateur, du type cyclone, ou de colonne à distiller...

La sortie liquide peut contenir une petite quantité de bulles entraînées par la vitesse du liquide de même que la sortie vapeur peut contenir des gouttelettes ou aérosols liquide sans pour autant sortir du cadre de l'invention.

D'autres applications consistent à récupérer un fluide riche en méthane et un fluide appauvri en méthane à partir d'une source riche en hydrocarbures divers. On peut de la sorte obtenir aussi plusieurs fluides tels une fraction riche en méthane, une fraction riche en éthane ou éthylène, et une fraction C3+. Ce type de procédé permet en particulier de récupérer de l'hydrogène à une pureté d'environ 95% à partir d'un mélange d'hydrogène et d'hydrocarbures, d'éliminer une partie de l'azote contenu dans des gaz riches en hydrocarbures. Il permet aussi de récupérer une fraction très riche en CO₂ et un gaz résiduaire contenant des constituants plus légers tels que N₂, Argon, O₂...

Ce fractionnement peut ne pas être un but en soi mais seulement un moyen de fournir de la puissance frigorifique destinée à liquéfier un autre fluide comme du gaz naturel. Dans ce cas, les divers fluides séparés sont recombinaés après réchauffement, recomprimés et réinjectés dans la ligne d'échange. On parle alors de cycle frigorifique.

Ces applications ont donné lieu à de nombreux développements portant tant sur les procédés que sur la technologie. En particulier, les échangeurs peuvent être du type bobiné, échangeur à tubes et calandre ou préférentiellement du type échangeur à plaques. Dans ce dernier cas, de nombreuses améliorations ont porté sur les ondes d'échange et sur l'introduction des fluides, en particulier diphasique, dans ces échangeurs afin d'optimiser le transfert thermique.

Tous les pourcentages mentionnés dans ce qui suit sont des pourcentages molaires.

Un exemple de ces unités va à présent être décrit en rapport avec la Figure 1. Cet exemple porte sur l'obtention d'hydrogène sous pression à une pureté de 95 % à partir d'un mélange gazeux sous pression contenant environ 70 % d'hydrogène, 18 % de méthane et 12 % d'hydrocarbures plus lourds.

Le mélange à séparer 1 est introduit à température ambiante et sous une pression de 40 bar absolus dans l'échangeur à plaques 10 pour y être refroidi via les passages d'échange 11. A un premier niveau de température dépendant de la composition des hydrocarbures les plus lourds et de la pression,

généralement de -40 à -120°C , le fluide 1, alors diphasique, est extrait de l'échangeur et séparé en sa fraction vapeur 2 et sa fraction liquide 3 dans le séparateur liquide-gaz 30. La fraction liquide 3 est détendue via la vanne de détente 50 jusqu'en basse pression et revaporisée dans la ligne d'échange via les passages d'échange 13.

La phase vapeur 2 enrichie en hydrogène et en méthane est à nouveau refroidie dans l'échangeur 20 via les passages 22, partiellement condensée et extraite vers -160°C . La fraction vapeur 4 issu du séparateur 40 constitue la production d'hydrogène à une teneur de 95% molaire. Elle est alors réchauffée dans les passages 24 puis 14 des échangeurs 20 et 10.

La fraction liquide 5 constituée principalement de méthane est détendue en basse pression dans la vanne 60, revaporisée dans l'échangeur 20 (passages 24) et réchauffée dans l'échangeur 10 (passages 14).

Les fluides 6 et 7 associés respectivement aux échangeurs 20 et 10 peuvent éventuellement être utilisés comme appoint frigorifique. Il peut s'agir de fluides extérieurs comme par exemple de l'azote liquide issu d'un stockage ou d'un appareil de séparation d'air voisin, ou d'un fluide interne au procédé, comme par exemple une fraction de l'hydrogène produit, partiellement réchauffé puis détendue dans une turbine de détente et réinjectée au bout froid de l'échangeur 20.

Il est possible aussi de favoriser la vaporisation du méthane 5 en injectant une petite fraction de la production hydrogène. C'est ce que représente le circuit éventuel comportant la vanne de détente 70.

Il convient de noter que les vannes de détente 50 et 60 servent à détendre des liquides d'une haute pression, ici 40 bar abs., jusqu'en basse pression. Il s'agit donc de petites vannes.

Il est courant d'utiliser la notion de CV en parlant de la taille des vannes. De nombreux ouvrages ou documents donnent d'une part les méthodes de calcul et d'autre part le CV des vannes disponibles dans le commerce. Pour ces dernières, il est classique d'indiquer le CV à pleine ouverture qui permet de déterminer le débit maximum qui peut passer à travers la vanne dans des conditions de fonctionnement données. A titre d'illustration et sans vouloir entrer dans les calculs, pour un débit d'alimentation gazeux de l'ordre de $10\,000\text{ Nm}^3/\text{h}$, le CV de ces vannes serait inférieur à 1.

Il en est de même de la vanne éventuelle 70 qui sert à détendre une toute petite fraction de l'hydrogène produit (quelques pourcents maximum).

De façon classique la mise en froid d'une telle unité de séparation se fait soit par détente libre du gaz à traiter soit plus généralement en utilisant un apport frigorifique extérieur.

On appelle mise en froid de la ligne d'échange la procédure qui permet d'obtenir les conditions opératoires normales, ici une première température de coupure entre les échangeurs 10 et 20 de -80°C par exemple et une température au bout froid de -160°C pour obtenir la pureté requise à partir d'équipements à température ambiante ou sous ambiante, si la ligne d'échange n'a pas eu le temps d'atteindre la température ambiante.

Le problème d'une mise en froid en utilisant la seule détente libre du gaz à traiter dans les vannes de détente 50, 60 et éventuellement 70 est que le débit total détendu est très faible et donc que la puissance frigorifique obtenue est elle-même très faible. Or cette puissance frigorifique est destinée à refroidir la ligne d'échange, les équipements annexes tels que les séparateurs, à compenser les pertes thermiques, c'est à dire les échanges avec le milieu extérieur... Une telle mise en froid peut prendre des dizaines d'heures et même éventuellement ne pas permettre d'atteindre le point de fonctionnement souhaité.

Cela se produit en particulier dans le cas où les pertes thermiques deviennent, à un certain niveau de température atteint au bout froid, égales à la puissance frigorifique produite par détente libre. A ce point, la mise en froid s'arrête et il n'est pas possible d'aller au delà.

Pour cette raison, il est courant d'utiliser les circuits d'apport frigorifique 6 et 7 par exemple pour hâter la mise en froid. Ces passages 26 et 27 peuvent être utilisés en permanence ou uniquement temporairement pendant les phases de mise en froid. Comme indiqué plus haut, il est classique d'utiliser de l'azote liquide en basse ou préférentiellement moyenne pression pour accélérer l'obtention des niveaux de température visés.

Il est apparu cependant que pas plus que la simple détente libre dans les vannes de détente de procédé (ici 50, 60 et éventuellement 70), l'utilisation de l'apport frigorifique extérieur n'était une solution satisfaisante.

En effet, l'apport de froid dans une ligne d'échange encore chaude et où en particulier il circule peu de fluides dans les passages normalement très sollicités que sont les passages de revaporisation des liquides (ici passages 13 et 25 en particulier) provoque des chocs thermiques et des contraintes importantes entre passages d'échange et au niveau des boîtes d'entrée/sortie. Ces chocs et contraintes sont susceptibles de causer rapidement des problèmes mécaniques au niveau des brasures ou soudures entre éléments constitutifs de l'échangeur.

C'est particulièrement vrai pour la technologie des échangeurs à plaques en aluminium brasé qui constitue à ce jour l'essentiel des lignes d'échange des unités cryogéniques de séparation ou liquéfaction des gaz.

Selon un autre aspect de l'invention, il est prévu un procédé de séparation cryogénique, de réfrigération ou de liquéfaction d'un fluide au moyen d'une ligne d'échange comprenant :

- l'extraction de la dite ligne d'échange d'au moins un fluide diphasique
- la séparation du dit fluide diphasique en au moins une fraction vapeur et une fraction liquide dans un séparateur de phases
- la détente d'au moins une partie de la dite fraction liquide au moyen d'un premier moyen de détente
- la réinjection, le réchauffement et la vaporisation au moins partielle de la dite fraction liquide détendue dans la ligne d'échange caractérisé en ce que le premier moyen de détente est une vanne
- lors de la mise en froid de la dite ligne d'échange, une fraction au moins du fluide extrait de la ligne d'échange et/ou du séparateur de phases est détendue dans un deuxième moyen de détente en parallèle avec le premier moyen de détente
- en fonctionnement normal le deuxième moyen de détente est essentiellement fermé.

Optionnellement :

- au moins un des premier et deuxième moyens de détente est une vanne ;
- le premier et le deuxième moyen de détente sont installés en parallèle ;

- on envoie de la vapeur du séparateur de phases à un troisième moyen de détente et, lors de la mise en froid de la dite ligne d'échange, une fraction au moins de la vapeur est détendue dans un deuxième moyen de détente en parallèle avec le troisième moyen de détente ;
- on envoie de la vapeur provenant du troisième moyen de détente au liquide provenant du séparateur de phases ;
- le CV du deuxième moyen de détente égale 3 fois le CV, de préférence 5 fois le CV du premier moyen de détente ;
- le CV du deuxième moyen de détente égale 3 fois le CV, de préférence 5 fois le CV du troisième moyen de détente ;
- pendant la mise en froid on commande le deuxième moyen de détente manuellement ou on régule la pression du gaz d'alimentation ;
- la séparation cryogénique est un procédé de séparation d'hydrocarbures ou de production d'hydrogène, de préférence de 90 à 98 % de pureté ou de production de CO₂, de préférence de pureté supérieure à 95 %, encore plus préférentiellement supérieure à 98 % ou un procédé d'élimination d'azote ou argon d'une fraction plus lourde ou la liquéfaction est une liquéfaction de gaz naturel.

La solution préconisée dans la présente invention va maintenant être expliquée par l'intermédiaire de la Figure 2.

Cette figure montre les modifications apportées au bout froid de la ligne d'échange décrite précédemment. Ces modifications peuvent être également apportées au niveau du premier pot séparateur 30 et plus généralement au niveau de chaque détente d'une fraction liquide.

L'invention consiste à rajouter au schéma correspondant au fonctionnement normal en régime établi, une vanne de détente dite de mise en froid utilisée seulement (voire principalement) lors des démarrages de l'unité.

Le but de cette vanne est double. Elle permet d'abord de détendre un gros débit de gaz augmentant ainsi considérablement la puissance frigorifique produite par l'unité elle-même, c'est à dire qu'elle permet de réduire le temps de mise en froid et normalement permet à elle seule d'atteindre les niveaux requis de température.

D'autre part, en cas de démarrage très rapide avec apport de puissance frigorifique extérieur, tel que l'utilisation d'azote liquide, cette vanne permet

d'abord de refroidir partiellement les équipements et de limiter d'autant les chocs thermiques mais surtout de rééquilibrer la ligne d'échange en faisant circuler des débits importants dans les passages de revaporisation 25 et 13.

Cette nouvelle vanne doit donc permettre de détendre une fraction importante du gaz haute pression, ici le fluide 2, et d'introduire ce fluide détendu dans les passages 25 dévolus normalement à la fraction liquide 5.

Cette vanne sera préférentiellement installée en by-pass de la vanne de détente 60. Elle sera alors environ 10 fois plus grosse. Il s'agit de la vanne 61 de la figure 2.

On peut aussi rajouter à la place une vanne entre le fluide 2, c'est à dire entre la sortie de l'échangeur et le pot séparateur 40, et l'entrée des passages 25 : il s'agit alors de la vanne 81.

On peut également détendre une fraction du flux 4 via une vanne 71.

Dans tous les cas, la vanne additionnelle de détente 61, 71 ou 81 pourra passer un débit d'un ordre de grandeur au moins 10 fois supérieur à celui susceptible d'être détendu dans la vanne 60 ou 70.

Cette vanne additionnelle sera progressivement refermée au fur et à mesure de la mise en froid, en particulier dès lors que du liquide apparaîtra en sortie d'échangeur.

Elle sera a priori totalement refermée en fonctionnement normal.

Elle sera généralement contrôlée manuellement (HIC) mais peut également être pilotée par le maintien de la haute pression (PIC).

Dans tous ces cas, on dira par la suite que la vanne additionnelle (61, 71 ou 81) est en parallèle avec la vanne de détente 60.

On notera à ce sujet qu'il n'est pas possible avec la grande majorité des vannes du commerce d'avoir à la fois une vanne permettant de passer un débit de gaz important, c'est à dire d'avoir un CV à pleine ouverture de 10 ou plus et de réguler ensuite avec une ouverture correspondant à un CV de 0.3 environ . Il est classique d'utiliser une vanne dans une plage d'ouverture d'un facteur 5, préférentiellement de 3, c'est à dire par exemple avec un CV de 0.1 à 0.5 ou de 0.1 à 0.3 mais pas au delà. Un facteur 5 (ou 3) permet d'habitude d'effectuer la marche nominale et les marches réduites (à débit réduit) sans problème particulier de régulation. Dans le cas de l'exemple de la figure 1 ou 2, en fonctionnement normal, la vanne de détente 60 permet de maintenir le niveau

liquide dans le pot séparateur 40. Elle contrôle donc le débit liquide détendu et revaporisé dans la ligne d'échange. Ce débit étant le principal apport frigorifique de l'échangeur 20, on conçoit que sa régulation est critique. Elle serait totalement impossible avec une vanne surdimensionnée, a fortiori avec une vanne 10 fois plus grosse que nécessaire.

Comme explicité plus haut, la détente additionnelle d'un débit important de gaz à traiter doit donc se faire via un moyen complémentaire qui ne sera plus utilisé en marche normale ou qui sera au moins partiellement refermé afin de permettre un fonctionnement satisfaisant de l'unité.

Enfin, on notera qu'il est possible, à partir du moment où l'on détend une partie appréciable du gaz d'alimentation via une vanne supplémentaire dans le circuit 25, d'injecter également dans ce circuit un débit d'appoint frigorifique tel que de l'azote liquide sans créer de contrainte trop importante. Suivant les cas, ce débit d'appoint peut être supprimé ou maintenu, au moins partiellement, pendant la marche normale alors que la vanne de détente supplémentaire sera fermée ou essentiellement fermée.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de séparation cryogénique, de réfrigération ou de liquéfaction d'un fluide au moyen d'une ligne d'échange comprenant :

- l'extraction de la dite ligne d'échange d'au moins un fluide diphasique (11)
- la séparation du dit fluide diphasique en au moins une fraction vapeur (4) et une fraction liquide (5) dans un séparateur de phases (40)
- la détente d'au moins une partie de la dite fraction liquide (5) au moyen d'un premier moyen de détente (60, 90)
- la réinjection, le réchauffement et la vaporisation au moins partielle de la dite fraction liquide détendue dans la ligne d'échange caractérisé en ce que le premier moyen de détente est une vanne
- lors de la mise en froid de la dite ligne d'échange, une fraction au moins du fluide extrait de la ligne d'échange (2, 4 ou 5) et/ou du séparateur de phases (40) est détendue dans un deuxième moyen de détente (61, 71, 81, 91) en parallèle avec le premier moyen de détente(60)
- en fonctionnement normal le deuxième moyen de détente est essentiellement fermé.

2. Procédé selon la revendication 1 dans lequel au moins un des premier et deuxième moyens de détente (60, 61, 70, 71, 81, 90, 91) est une vanne.

3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2 dans lequel le premier et le deuxième moyen de détente (60, 61, 70, 71, 81, 90, 91) sont installés en parallèle.

4. Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel on envoie de la vapeur (4) du séparateur de phases (40) à un troisième moyen de détente (70) et, lors de la mise en froid de la dite ligne d'échange, une fraction au moins de la vapeur est détendue dans un deuxième moyen de détente (71) en parallèle avec le troisième moyen de détente (70).

5. Procédé selon la revendication 4 dans lequel on envoie de la vapeur provenant du troisième moyen de détente (70) au liquide (5) provenant du séparateur de phases (40).

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel le CV du deuxième moyen de détente (61, 71, 81, 91) égale 3 fois le CV, de préférence 5 fois le CV du premier moyen de détente (60, 90).

7. Procédé selon la revendication 5 dans lequel le CV du deuxième moyen de détente (71) égale 3 fois le CV, de préférence 5 fois le CV du troisième moyen de détente (70).

8. Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel pendant la mise en froid on commande le deuxième moyen de détente (61, 71, 81, 91) manuellement ou on régule la pression du gaz d'alimentation.

9. Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel la séparation cryogénique est un procédé de séparation d'hydrocarbures ou de production d'hydrogène, de préférence de 90 à 98 % de pureté ou de production de CO₂, de préférence de pureté supérieure à 95 %, encore plus préférentiellement supérieure à 98 % ou un procédé d'élimination d'azote ou argon d'une fraction plus lourde ou la liquéfaction est une liquéfaction de gaz naturel.

2/2

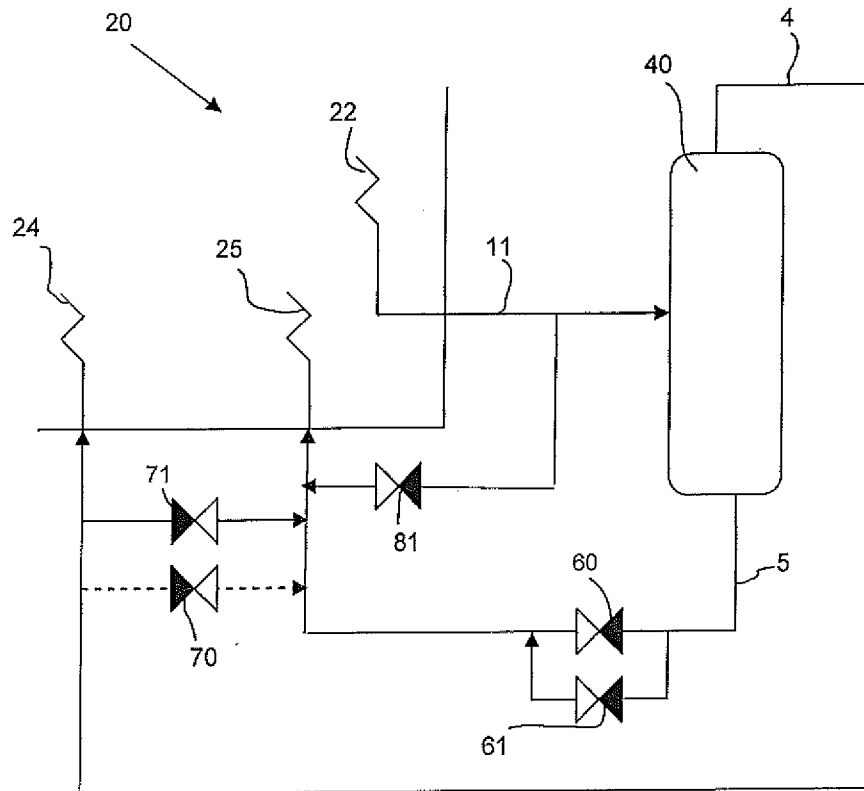


FIG. 2