

12

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

21 Numéro de dépôt: **84400906.8**

51 Int. Cl.³: **F 25 J 1/02**
F 25 J 3/06

22 Date de dépôt: **03.05.84**

30 Priorité: **06.05.83 FR 8307620**

43 Date de publication de la demande:
21.11.84 Bulletin 84/47

84 Etats contractants désignés:
BE DE GB IT NL

71 Demandeur: **COMPAGNIE FRANCAISE D'ETUDES ET DE CONSTRUCTION "TECHNIP"**
170 Place Henry Regnault
F-92090 Paris la Défense(FR)

72 Inventeur: **Paradowski, Henri**
32 rue Serpente
F-95000 Cergy Pontoise(FR)

72 Inventeur: **Leroux, Didier**
1 et 2 Square Henri Regnault
F-92400 Courbevoie(FR)

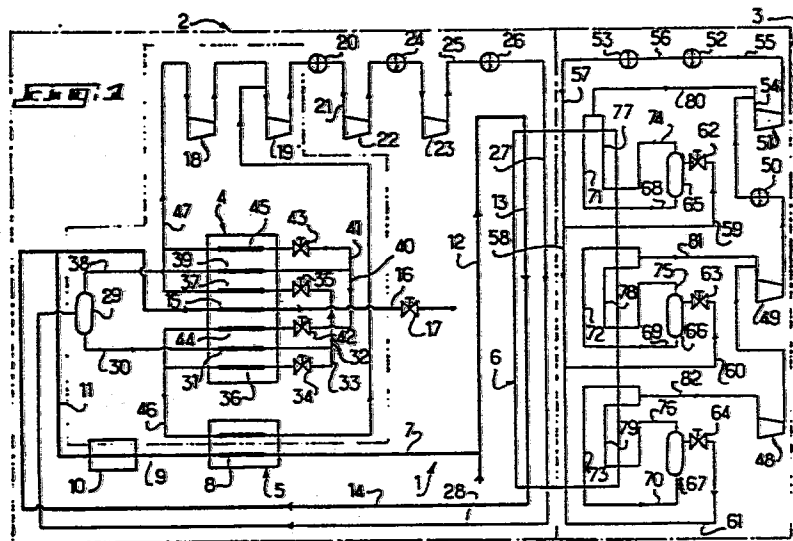
74 Mandataire: **Durand, Yves Armand Louis et al,**
Cabinet Z. Weinstein 20, Avenue de Friedland
F-75008 Paris(FR)

54 Procédé et appareil de refroidissement et liquéfaction d'au moins un gaz à bas point d'ébullition, tel que par exemple du gaz naturel.

57 La présente invention concerne un procédé et un appareil de liquéfaction d'un gaz à bas point d'ébullition, tel que du gaz naturel, par échange de chaleur avec un fluide réfrigérant, à plusieurs composants.

Selon l'invention, la phase vapeur du fluide réfrigérant principal, condensée et sous-refroidie est détendue, en une fois, à au moins une première pression, et la phase liquide du fluide réfrigérant principal sous-refroidie est détendue, en une fois, à au moins une deuxième pression, différente de ladite première pression.

La présente invention s'applique notamment à la liquéfaction du gaz naturel.



-1-

Procédé et appareil de refroidissement et de liquéfaction d'au moins un gaz à bas point d'ébullition, tel que par exemple du gaz naturel

La présente invention a pour objet un procédé et un appareil de refroidissement et de liquéfaction d'au moins un gaz à bas point d'ébullition, tel que par exemple du gaz naturel, ou éventuellement tout mélange
5 de gaz comportant au moins un composant à bas point d'ébullition.

On connaît déjà des procédés de liquéfaction par exemple de gaz naturel dans lesquels le gaz naturel
10 est graduellement liquéfié par échanges de chaleur successifs avec plusieurs fluides de réfrigération ayant des points d'ébullition décroissants. Un tel procédé dit "en cascade" nécessite l'utilisation d'un grand nombre d'échangeurs, de compresseurs, de pompes,
15 etc. pour assurer la circulation en circuit fermé de chacun des fluides de réfrigération. L'installation est donc complexe et la multiplicité des équipements diminue la fiabilité de l'ensemble. En outre, les courbes de refroidissement de ces fluides de réfrigé-
20 ration ne suivent pas l'allure continue de la courbe de refroidissement du gaz naturel, ce qui entraîne une baisse des rendements et donc des pertes d'énergie importantes.

25 On connaît également des procédés de liquéfaction

d'un gaz naturel par échange de chaleur avec un fluide de réfrigération à plusieurs composants soumis à au moins une condensation partielle, la partie condensée dudit fluide de réfrigération assurant par
5 échange de chaleur la liquéfaction du gaz naturel. La (ou les) partie(s) condensée(s) dudit fluide de réfrigération constitue(nt) également un fluide de réfrigération à plusieurs composants. La courbe de refroidissement du fluide de réfrigération a plusieurs
10 composants est dans ce cas proche de la courbe de refroidissement du gaz naturel. De plus, l'installation est simplifiée ne nécessitant qu'un seul groupe compresseur puisqu'il n'y a qu'un seul fluide de réfrigération (complexe) dans l'installation.

15 Il est également connu de se servir d'un fluide de réfrigération auxiliaire à un ou plusieurs composants pour prérefroidir simultanément ou séparément, le gaz naturel à liquéfier et le fluide de réfrigération
20 principal. Les fluides de réfrigération auxiliaire et principal circulant chacun en circuit fermé sont comprimés chacun par un groupe compresseur distinct.

Ces procédés avec réfrigérants à plusieurs composants
25 utilisent des échangeurs du type bobiné afin d'obtenir un bon rendement et plus particulièrement une homogénéité correcte du mélange liquide-vapeur lors de sa distribution en tête d'échangeur et pendant sa vaporisation le long de l'échangeur. Malheureusement,
30 ces échangeurs restent des appareils coûteux, volumineux et lourds.

La présente invention a donc pour but d'éviter les inconvénients des procédés de l'art antérieur indiqués
35 ci-dessus, en créant un procédé de refroidissement et de liquéfaction de gaz naturel par exemple, permettant

notamment d'obtenir un meilleur rendement à un coût plus bas.

Dans cet esprit, la présente invention a pour objet

5 un procédé de refroidissement et de liquéfaction d'au moins un gaz à bas point d'ébullition, tel que par exemple du gaz naturel, par échange de chaleur avec au moins une partie d'un fluide réfrigérant principal à plusieurs composants prérefroidi jusqu'à sa liqué-

10 faction au moins partielle par échange thermique avec un fluide réfrigérant auxiliaire, notamment à plusieurs composants, lesdits fluides réfrigérants faisant partie d'une cascade frigorifique incorporée d'au moins ces deux fluides réfrigérants, ledit fluide

15 réfrigérant principal évoluant selon un cycle de refroidissement en circuit fermé en y subissant successivement : au moins une compression à l'état gazeux, au moins un refroidissement préliminaire avec condensation au moins partielle, notamment par

20 échange thermique avec ledit fluide réfrigérant auxiliaire, les phases liquide et vapeur ainsi obtenues étant ensuite séparées, au moins une réfrigération avec liquéfaction totale puis sous-refroidissement, et ensuite détente pour échange de

25 chaleur subséquent et vaporisation résultante, à contre-courant avec lui-même et avec ledit gaz pour liquéfaction au moins partielle de ce dernier, la vapeur ainsi réchauffée étant finalement recomprimée et recyclée, caractérisé en ce que ladite phase

30 vapeur du fluide réfrigérant principal condensée et sous-refroidie est détendue, en une fois, à au moins une première pression et en ce que ladite phase liquide du fluide réfrigérant principal sous-refroidie est détendue, en une fois, à au moins une deuxième

35 pression, différente de ladite première pression.

Selon une autre caractéristique de l'invention, une première partie de la phase vapeur précitée du fluide réfrigérant principal, condensée et sous-refroidie est détendue à une première pression, une deuxième
5 partie étant détendue à une deuxième pression, et une première partie de la phase liquide précitée du fluide réfrigérant principal sous-refroidie est détendue à ladite première pression, une deuxième partie étant détendue à ladite deuxième pression.

10

Selon une autre caractéristique de l'invention, après la vaporisation précitée, les premières parties précitées des phases vapeur et liquide précitées sont mélangées et les deuxièmes parties précitées desdites
15 phases vapeur et liquide sont mélangées.

Selon encore une autre caractéristique de l'invention, après la détente précitée, et avant la vaporisation précitée, les premières parties précitées des phases
20 vapeur et liquide précitées sont mélangées, et les deuxièmes parties précitées desdites phases vapeur et liquide sont mélangées.

Selon une autre caractéristique de l'invention, les
25 phases vapeur et liquide du fluide réfrigérant principal obtenues après la détente précitée sont séparées avant échange de chaleur avec le gaz à liquéfier précité et le fluide réfrigérant principal avant détente.

30

Selon une autre caractéristique de l'invention, la première pression précitée est une basse pression inférieure à environ 1 bar effectif et la deuxième pression précitée est une pression moyenne comprise
35 entre environ 1,5 et environ 3 bars effectifs.

Selon une autre caractéristique de l'invention, au moins une partie du gaz à liquéfier précité est pré-refroidie par échange thermique avec au moins une partie du fluide réfrigérant auxiliaire précité.

5

Selon une autre caractéristique de l'invention, au moins une partie du gaz à liquéfier précité est pré-refroidie par échange thermique avec au moins une partie de la vapeur réchauffée précitée à la première ou la deuxième pression précitée.

10

Selon encore une autre caractéristique de l'invention, au moins une partie du fluide réfrigérant principal précité est prérefroidie par échange thermique avec au moins une partie de la vapeur réchauffée précitée à la première ou la deuxième pression précitée.

15

Selon une autre caractéristique de l'invention, le fluide réfrigérant auxiliaire précité évoluant selon un cycle de refroidissement en circuit fermé en y subissant successivement : au moins une compression à l'état gazeux; au moins un refroidissement préliminaire avec éventuellement condensation au moins partielle par échange thermique avec un agent refroidisseur de préférence d'origine externe; au moins une auto-réfrigération avec liquéfaction totale puis sous-refroidissement et ensuite détente pour échange de chaleur subséquent et vaporisation résultante concomitante à contre-courant avec lui-même avant sa détente et avec le fluide réfrigérant principal, et éventuellement le gaz à liquéfier; la vapeur ainsi réchauffée étant recyclée et recomprimée, la détente du fluide réfrigérant auxiliaire, avant vaporisation, s'effectue à au moins deux niveaux de pression, notamment à trois niveaux de pression.

20

25

30

35

Selon une autre caractéristique de l'invention, on sépare les phases vapeur et liquide, du fluide réfrigérant auxiliaire après détente.

- 5 Selon d'autres caractéristiques de l'invention, le fluide réfrigérant principal précité a la composition molaire suivante :

	azote N_2 :	0% à 2%
	méthane CH_4 :	35% à 55%
10	éthylène C_2H_4 ou éthane C_2H_6 :	28% à 65%
	propylène C_3H_6 , propane C_3H_8 :	0% à 15%

et le fluide réfrigérant auxiliaire précité a la composition molaire suivante :

	éthylène C_2H_4 ou éthane C_2H_6 :	30% à 70%
15	propylène C_3H_6 ou propane C_3H_8 :	70% à 30% .

La présente invention a également pour objet

- un appareil pour la mise en oeuvre du procédé précité, appareil du type comprenant au moins les circuits suivants : un circuit ouvert de gaz à liquéfier; un
- 20 circuit fermé de fluide réfrigérant principal en relation d'échange thermique avec ledit circuit de gaz au moyen d'au moins un échangeur de chaleur cryogénique, et faisant partie d'une cascade frigorifique incorporée d'au moins deux fluides réfrigérants,
- 25 respectivement principal et auxiliaire; un circuit fermé de fluide réfrigérant auxiliaire en relation d'échange thermique avec ledit circuit de fluide réfrigérant principal, et éventuellement avec ledit circuit de gaz à liquéfier, au moyen d'au moins un
- 30 échangeur de chaleur cryogénique de prérefroidissement et de liquéfaction au moins partielle dudit fluide réfrigérant principal; ledit circuit fermé de fluide réfrigérant principal comprenant successivement : au
- 35 moins un compresseur et éventuellement un échangeur de chaleur ou refroidisseur relié à une voie d'écoulement du fluide réfrigérant principal traversant ledit échangeur cryogénique du circuit de fluide

réfrigérant auxiliaire, un séparateur des phases
vapeur et liquide ainsi obtenues, ledit échangeur de
chaleur cryogénique et un système de détente, compre-
nant un organe de détente dans la voie d'écoulement
5 de chaque fraction du fluide réfrigérant principal,
relié audit compresseur, et caractérisé en ce que
ledit échangeur de chaleur cryogénique dudit circuit
de fluide réfrigérant principal est un échangeur à
plaques comportant des voies de passage différentes
10 pour chacun des fluides en présence lors de l'échange
thermique, à savoir le gaz à liquéfier, les phases ou
fractions liquide et vapeur du fluide réfrigérant
principal partiellement condensé, ainsi que les
fractions, issues des précédentes, détendues à
15 différents niveaux de pression.

Selon une autre caractéristique de l'invention,
l'emplacement de chaque élément du système de détente
précité par rapport à l'échangeur de chaleur cryogé-
20 nique précité du circuit de fluide réfrigérant
principal est modifiable pour chaque fraction préci-
tée du fluide réfrigérant principal.

Selon une autre caractéristique de l'invention, un
25 séparateur des phases vapeur et liquide est prévu, en
aval de l'organe de détente précité, dans la voie
d'écoulement de la fraction vapeur du fluide réfri-
gérant principal.

30 Selon une autre caractéristique de l'invention, un
échangeur de chaleur est prévu en amont de l'échan-
geur de chaleur cryogénique précité du circuit de
fluide réfrigérant principal, échangeur de chaleur
qui est traversé, notamment à contre-courant, d'une
35 part par le fluide réfrigérant principal vaporisé
après détente dans ledit échangeur de chaleur

cryogénique et, d'autre part, par au moins une partie du gaz à liquéfier et/ou du fluide réfrigérant principal.

5 Selon une autre caractéristique de l'invention, le circuit de gaz à liquéfier précité comprend une voie d'écoulement vers et à travers l'échangeur de chaleur précité du circuit de fluide réfrigérant principal comportant, en aval dudit échangeur, un organe de
10 détente; une dérivation de ladite voie traversant l'échangeur de chaleur précité du circuit de fluide réfrigérant auxiliaire avant de rejoindre ladite voie d'écoulement avant ledit échangeur cryogénique du circuit de fluide réfrigérant principal.

15 Selon une autre caractéristique de l'invention, le circuit de fluide réfrigérant auxiliaire précité comprenant successivement au moins un compresseur, au moins un échangeur-refroidisseur à fluide réfrigé-
20 rant de préférence d'origine externe; et l'échangeur de chaleur cryogénique précité étant traversé par une voie d'écoulement du fluide réfrigérant auxiliaire comportant, à sa sortie, un organe de détente, et par au moins une voie d'écoulement, à contre-
25 courant, dudit fluide réfrigérant après détente, ladite voie d'écoulement du fluide réfrigérant auxiliaire dans ledit échangeur cryogénique présente au moins deux dérivations par exemple trois, comportant un organe de détente, la partie de chaque
30 dérivation en aval dudit organe de détente traversant la partie correspondante dudit échangeur cryogénique sensiblement parallèlement à ladite voie d'écoulement et à contre-courant.

35 Selon une autre caractéristique de l'invention, un séparateur de phases vapeur et liquide est prévu en

aval de l'organe de détente précité, la partie de dérivation précitée, en aval dudit séparateur, étant divisée en une voie d'écoulement de la phase vapeur et une voie d'écoulement de la phase liquide; la voie
5 d'écoulement de la phase vapeur pouvant ne pas traverser l'échangeur précité.

Le procédé et l'appareil décrits ci-dessus présentent un grand nombre d'avantages parmi lesquels on peut
10 citer :

- une flexibilité remarquable autorisant des conditions de fonctionnement très différentes, par exemple un changement de la nature du gaz à liquéfier tout en
15 conservant un rendement thermodynamique élevé; cette flexibilité apparaissant aussi bien au stade de la conception du schéma de procédé qu'au stade de la mise en oeuvre de l'unité de liquéfaction;
- 20 - une adaptation particulière à l'utilisation des échangeurs à plaques ce qui permet un investissement modéré pour la zone d'échange cryogénique allié à une conception modulaire facilitant le transport et l'implantation sur barge par exemple;
- 25 - un schéma de procédé suffisamment évolutif pour répondre à divers besoins particuliers tels que réchauffage des aspirations du compresseur du cycle principal, traitements intermédiaires du gaz naturel
30 en cours de liquéfaction.

La flexibilité du procédé repose sur les caractéristiques suivantes du fluide réfrigérant principal :

- 35 -pourcentages molaires d'azote, de méthane, de propane et d'hydrocarbures plus lourds;

- pourcentage molaire de vapeur après condensation partielle dans le cycle de réfrigération auxiliaire;
 - pressions de vaporisation de différentes fractions
- 5 à l'état liquide sous-refroidi;
- répartition de chacune des fractions liquides sous-refroidies entre les différents niveaux de pression.
- 10 L'invention sera mieux comprise et d'autres détails, caractéristiques et avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement à la lumière de la description explicative qui va suivre faite en se référant aux
- 15 dessins schématiques annexés illustrant des modes de réalisation actuellement préférés de l'invention et dans lesquels :

La figure 1 est un diagramme schématique d'un appareil de refroidissement et de liquéfaction d'un gaz à bas

20 point d'ébullition tel que par exemple du gaz naturel, selon l'invention.

La figure 2 est une vue schématique d'une première variante de réalisation de l'échangeur cryogénique du

25 circuit de fluide réfrigérant principal selon l'invention.

La figure 3 est une vue schématique d'une deuxième variante de réalisation de l'échangeur cryogénique

30 du circuit de fluide réfrigérant principal.

La figure 4 est une vue schématique d'une troisième variante de réalisation de l'échangeur cryogénique

du circuit de fluide réfrigérant principal.

35

La figure 5 est une vue schématique d'une autre

variante de réalisation de l'appareil selon l'invention.

La figure 6 est une vue schématique d'une variante
5 de réalisation du circuit de réfrigérant auxiliaire.

Sur les différentes figures, les mêmes chiffres de référence sont utilisés pour désigner des éléments ou parties identiques ou similaires et les valeurs
10 numériques de pression indiquées à titre d'exemple, sont exprimées en bars effectifs.

En se référant en particulier à la figure 1, le circuit ouvert de gaz, par exemple naturel, à liquéfier, est désigné d'une façon générale par le repère 1,
15 tandis que le circuit fermé de fluide réfrigérant principal est désigné d'une manière générale par le chiffre de référence 2 et le circuit fermé de fluide réfrigérant auxiliaire est désigné par le chiffre de référence 3. Les circuits fermés de fluides réfrigérants principal et auxiliaire sont symboliquement délimités et contenus à l'intérieur d'un cadre rectangulaire tracé en ligne discontinue en traits mixtes, et le trajet du gaz à liquéfier est indiqué
25 par une ligne continue en trait plein épais. Le circuit de gaz à liquéfier 1 et le circuit de fluide réfrigérant principal 2 sont thermiquement combinés ou interconnectés par l'intermédiaire d'échangeurs de chaleur cryogéniques communs respectivement de
30 liquéfaction et de sous-refroidissement de gaz 4, d'une part, et de refroidissement préliminaire de gaz 5, d'autre part. Les circuits de fluides réfrigérants respectivement principal 2 et auxiliaire 3 sont combinés par l'intermédiaire d'au moins un échangeur
35 de chaleur cryogénique commun 6 de prérefroidissement et de liquéfaction au moins partielle du fluide réfrigérant principal.

- Le circuit ouvert 1 de gaz à liquéfier comprend une conduite 7 d'arrivée à l'échangeur de chaleur de refroidissement préalable 5 reliée à au moins une voie d'écoulement intérieure 8 de cet échangeur dont la sortie est reliée par une conduite 9 à un appareil facultatif 10 de traitement de gaz, notamment pour l'extraction de l'éthane. On peut bien sûr prévoir d'autres appareils de traitement du gaz, notamment un appareil d'extraction de l'azote peut être par exemple prévu au niveau de l'échangeur de chaleur cryogénique 4. La sortie de cet appareil 10 est reliée par une conduite 11 à l'entrée de l'échangeur de chaleur 4.
- 15 Une dérivation 12 de la conduite 7 peut être éventuellement prévue, dérivation 12 qui est reliée à une voie d'écoulement 13 d'une partie du gaz à liquéfier dans l'échangeur de chaleur cryogénique 6 du circuit de fluide réfrigérant auxiliaire, dont la sortie est reliée par une voie d'écoulement 14 à la conduite 11 avant l'entrée de l'échangeur de chaleur 4. La conduite 11 est reliée à une voie d'écoulement interne 15 traversant l'échangeur de chaleur cryogénique 4 et dont l'extrémité aval se raccorde, à la sortie de l'échangeur de chaleur 4 à une conduite 16 de gaz naturel liquéfié à travers au moins un organe de détente 17 tel que par exemple une vanne de détente.

Le circuit fermé 2 contient un fluide réfrigérant principal constitué par un mélange de plusieurs composants dont au moins la majeure partie est avantageusement formée d'hydrocarbures. La composition relative en moles de ce fluide réfrigérant peut être par exemple la suivante:

35

azote N_2	:	0% à 2%
méthane CH_4	:	35% à 55%

éthylène C_2H_4 ou éthane C_2H_6 : 28% à 65%
propylène C_3H_6 , propane C_3H_8 : 0% à 15% .

Ce circuit 2 comprend successivement dans le sens
5 d'écoulement du fluide réfrigérant : un premier
compresseur 18 et un deuxième compresseur 19 de
fluide réfrigérant à l'état gazeux, entraînés soit
chacun séparément par une machine motrice individuelle
ou bien ensemble conjointement par une machine
10 motrice commune en ayant alors leurs arbres respectifs
accouplés mécaniquement. Ces deux compresseurs 18, 19
sont reliés en série à un échangeur-refroidisseur 20
dont le fluide refroidisseur est avantageusement
d'origine externe et constitué par exemple par de
15 l'eau ou de l'air. Les compresseurs 21, 22 peuvent
être entraînés conjointement ou encore conjointement
avec au moins l'un des compresseurs 18, 19, ou
séparément chacun. La sortie de l'échangeur-refroi-
disseur 20 est reliée par une conduite 21 à un
20 troisième compresseur 22 et un quatrième compresseur
23 reliés en série à travers au moins un refroidisseur
intermédiaire 24 dont le fluide refroidisseur est
avantageusement d'origine externe et constitué par
exemple par de l'eau ou de l'air. L'orifice de sortie
25 et de refoulement du compresseur 23 est relié par
une conduite 25, à travers un échangeur-refroidisseur
26 (dont le fluide refroidisseur est avantageusement
d'origine externe, tel que par exemple de l'eau ou
de l'air), à l'entrée de l'échangeur de chaleur 6 et
30 plus précisément à l'extrémité amont d'au moins une
voie d'écoulement interne 27 s'étendant dans celui-ci.
L'échangeur de chaleur cryogénique 6 du circuit de
fluide réfrigérant auxiliaire est avantageusement un
échangeur à plaques. A la sortie de l'échangeur de
35 chaleur 6, l'extrémitéaval de la voie d'écoulement 27
est reliée par une conduite 28 à au moins un séparateur

de phases 29. L'espace collecteur de liquide de ce séparateur de phases est relié par une conduite 30 à l'entrée de l'échangeur de chaleur 4 et plus précisément à l'extrémité amont d'au moins une voie d'écoulement 31 s'étendant à l'intérieur de l'échangeur de chaleur 4 dans sensiblement la même direction que la voie d'écoulement interne 15 du gaz à liquéfier. L'extrémité aval de la voie d'écoulement interne 31 est divisée, après la sortie de l'échangeur de chaleur 4, en deux voies d'écoulement 33, 32 respectivement, raccordées à l'entrée d'organes de détente 34, 35 respectivement. A la sortie de chaque organe de détente 34, 35 est reliée une voie d'écoulement 36, 37 s'étendant à l'intérieur de l'échangeur de chaleur cryogénique 4 dans sensiblement la même direction que la voie d'écoulement interne 15 du gaz à liquéfier et à la voie d'écoulement 31, et à contre-courant.

L'espace collecteur de vapeur du séparateur de phases 29 est relié par une conduite 38 à l'entrée de l'échangeur de chaleur cryogénique 4 et plus précisément à l'extrémité amont d'au moins une autre voie d'écoulement interne 39 s'étendant sensiblement parallèlement aux voies d'écoulement 15 et 31.

L'extrémité aval de cette voie d'écoulement 39 est divisée, après la sortie de l'échangeur de chaleur 4, en deux voies d'écoulement 40, 41 reliées à l'entrée d'organes de détente 42, 43, respectivement, la sortie des organes de détente 42, 43 est reliée à des voies d'écoulement 44, 45, respectivement, s'étendant à l'intérieur de l'échangeur de chaleur cryogénique 4 dans sensiblement la même direction que les autres voies d'écoulement 15, 31, 36, 37 et 39.

35

Selon l'invention, l'échangeur de chaleur cryogénique 4

du circuit de fluide réfrigérant principal 2 est un échangeur à plaques comportant, comme on l'a vu ci-dessus, des voies de passage différentes pour chacun des fluides en présence lors de l'échange
5 thermique, à savoir le gaz à liquéfier, les phases ou fractions liquide et vapeur du fluide réfrigérant principal partiellement condensé, ainsi que les fractions issues des précédentes, détendues à différents niveaux de pression.

10

Après la sortie de l'échangeur cryogénique 4, les voies d'écoulement 36 et 44 des fractions du fluide réfrigérant principal détendues à une même pression, par exemple une pression moyenne, notamment comprise
15 entre environ 1,5 et 3 bars se réunissent en une voie d'écoulement unique 46 qui peut éventuellement traverser l'échangeur de chaleur 5 de prérefroidissement du gaz à liquéfier, notamment à contre-courant, l'extrémité aval de cette voie d'écoulement 46 étant
20 reliée à l'orifice d'aspiration du compresseur 19.

De même, après la sortie de l'échangeur de chaleur cryogénique 4, les voies d'écoulement 37 et 45 des fractions du fluide réfrigérant principal détendues à une même pression, notamment une basse pression,
25 par exemple inférieure à environ 1 bar effectif se réunissent en une voie d'écoulement unique 47 dont l'extrémité aval débouche dans l'orifice d'aspiration du compresseur 18.

30 Le circuit 3 contient un fluide réfrigérant auxiliaire constitué par un mélange de préférence uniquement à base d'hydrocarbures ayant par exemple la composition molaire relative suivante :

éthylène C_2H_4 ou éthane C_2H_6 : 30% à 70%
35 propylène C_3H_6 ou propane C_3H_8 : 70% à 30%.

- Le circuit fermé 3 du fluide réfrigérant auxiliaire comporte successivement les éléments suivants dans le sens d'écoulement du fluide : des premier 48, deuxième 49 et troisième 51 compresseurs reliés en
- 5 série les uns aux autres et entraînés soit respectivement par des machines motrices individuelles ou bien par au moins une machine motrice commune à au moins deux compresseurs qui sont alors directement accouplés mécaniquement par leurs arbres respectifs.
- 10 L'orifice de sortie ou de refoulement du deuxième compresseur 49 est relié à l'orifice d'entrée ou d'aspiration du troisième compresseur 51 par une conduite 54 à travers un échangeur-refroidisseur 50 à agent refroidisseur de préférence d'origine externe
- 15 tel que par exemple de l'eau ou de l'air. L'orifice de sortie ou de refoulement du troisième compresseur 51 est raccordé par une conduite 55 à un condenseur 52 dont la sortie est raccordée par une conduite 56 à un sous-refroidisseur 53.
- 20 La sortie du sous-refroidisseur 53 est raccordée par une conduite 57 à l'échangeur de chaleur cryogénique 6, qui peut être notamment constitué par un échangeur à plaques, et plus particulièrement à l'extrémité
- 25 amont d'une voie d'écoulement 58 traversant l'échangeur de chaleur 6 dans une direction sensiblement parallèle aux voies d'écoulement 13 et 27 du gaz à liquéfier et du fluide réfrigérant principal, respectivement.
- 30 La voie d'écoulement 58 du fluide réfrigérant auxiliaire dans l'échangeur de chaleur cryogénique 6 présente, par exemple, trois dérivations 59, 60 et 61 prévues à trois niveaux différents dans l'échangeur 6.
- 35 Les trois dérivations 59, 60 et 61 sont reliées chacune à un organe de détente 62, 63 et 64,

respectivement, dont la sortie est reliée à un
séparateur de phases vapeur et liquide 65, 66 et 67,
respectivement. Dans les trois cas, l'espace collec-
5 67 est relié par une conduite 68, 69 et 70, respec-
tivement, à une entrée de l'échangeur de chaleur
cryogénique 6 et plus précisément à l'extrémité
amont d'une voie d'écoulement 71, 72 et 73, respecti-
vement, dont la majeure partie s'étend à l'intérieur
10 de l'échangeur de chaleur cryogénique 6 dans une
direction au moins approximativement parallèle aux
voies d'écoulement 13 du gaz à liquéfier, 27 du
fluide réfrigérant principal et 58 du fluide réfri-
gérant auxiliaire avant détente. De même, les
15 espaces collecteurs de vapeur de chaque séparateur de
phases 65, 66, 67 sont reliés par une conduite 74, 75
et 76, respectivement, à une entrée de l'échangeur de
chaleur cryogénique 6 et plus particulièrement à
l'extrémité amont d'une voie d'écoulement 77, 78, 79
20 dont la majeure partie s'étend à l'intérieur de
l'échangeur de chaleur cryogénique 6 dans sensiblement
la même direction que les autres voies d'écou-
lement internes 13, 27 et 58. Après être sorties de
l'échangeur 6, les voies d'écoulement 71 et 77, 72 et
25 78, 73 et 79, respectivement, se réunissant en une
seule voie d'écoulement, 80, 81 et 82 respectivement.
La voie d'écoulement 82 est reliée à l'orifice
d'aspiration du compresseur 48, la voie d'écoulement
81 est reliée à l'orifice d'aspiration du compresseur
30 49 et la voie d'écoulement 80 est reliée à l'orifice
d'aspiration du compresseur 51.

Le circuit 1 fonctionne de la façon suivante : le gaz
à liquéfier par exemple du gaz naturel, arrivant par
35 la conduite 7 à une température par exemple d'environ
+20°C et à une pression par exemple d'environ 42,5 bars,

- traverse la voie de passage 8 de l'échangeur de
chaleur 5 pour y être refroidi préliminairement par
échange thermique avec le fluide réfrigérant princi-
pal vaporisé après détente dans l'échangeur de
5 chaleur cryogénique 4 et circulant dans la voie
d'écoulement 46 en sens contraire au sens d'écoule-
ment du gaz dans la voie de passage 8. En quittant
l'échangeur de chaleur 5 par la conduite 9, le gaz
est alors à une température par exemple d'environ
10 -45°C et à une pression par exemple d'environ
42 bars. Il traverse ensuite l'appareil de traite-
ment 10 pour parvenir par la conduite 11 à l'entrée
de la voie d'écoulement 15 dans l'échangeur à
plaques 4 pour y être entièrement liquéfié puis
15 sous-refroidi par échange thermique avec le fluide
réfrigérant principal. A sa sortie de l'échangeur
de chaleur 4, le gaz liquéfié est à une température
par exemple d'environ -154°C et à une pression par
exemple d'environ 41,5 bars. Il est ensuite détendu
20 dans la vanne de détente 17 puis transféré au lieu
de conservation ou de stockage de gaz naturel
liquéfié ou à un lieu de traitement ou d'utilisation
de celui-ci.
- 25 Une partie du gaz à liquéfier peut être également
préalablement refroidie par échange thermique avec
le fluide réfrigérant auxiliaire dans l'échangeur de
chaleur cryogénique 6, cette partie étant ensuite
combinée au reste du gaz à liquéfier avant son
30 entrée dans l'échangeur de chaleur cryogénique 4.

Le cycle 2 du fluide réfrigérant principal fonctionne
de la façon suivante : la partie du fluide réfrigé-
rant principal détendue à basse pression est aspirée
35 à l'état gazeux, à une température par exemple
d'environ -52°C et à une pression par exemple
d'environ 0,08 bar par le premier compresseur 18

d'où il est refoulé à une pression moyenne d'environ par exemple 2 bars et à une température d'environ par exemple 10°C, puis il est aspiré par le deuxième compresseur 19, en même temps que la partie du

5 fluide réfrigérant principal détendue à une pression moyenne égale par exemple à environ 2 bars et dont la température est par exemple d'environ 10°C. L'ensemble est refoulé du compresseur 19 à une

10 température égale par exemple à environ 71°C et à une pression égale par exemple à environ 6,5 bars puis traverse l'échangeur-refroidisseur 20 dans lequel la température du fluide réfrigérant principal est abaissée à environ par exemple 15°C. Par la

15 voie d'écoulement 21, il pénètre alors dans l'orifice d'aspiration du compresseur 22, traverse l'échangeur-refroidisseur 24 puis est comprimé dans le compresseur 23 et, par la voie d'écoulement 25, traverse l'échangeur de chaleur 26. A la sortie de cet échangeur de chaleur 26, le fluide réfrigérant

20 principal est par exemple à une température d'environ 15°C et à une pression d'environ 27,4 bars. Il pénètre alors dans la voie d'écoulement 27 de l'échangeur de chaleur cryogénique 6 où le fluide réfrigérant principal est refroidi par échange

25 thermique avec le fluide réfrigérant auxiliaire de façon à se liquéfier au moins partiellement. Le fluide réfrigérant principal ainsi au moins partiellement condensé à une température par exemple d'environ -50°C et à une pression par exemple

30 d'environ 26,5 bars, quitte alors l'échangeur de chaleur 6 sous la forme d'un mélange de phases respectivement gazeuse et liquide qui sont ensuite séparées dans le séparateur de phases 29. La phase gazeuse est amenée par la conduite 38 dans le

35 segment de la voie d'écoulement 39 situé dans l'échangeur de chaleur cryogénique 4 pour y être

liquéfiée puis sous-refroidie à une température par exemple d'environ -154°C . Une partie de cette phase gazeuse liquéfiée et sous-refroidie s'écoule dans la voie 41 et est détendue dans l'organe de détente 43 à une pression par exemple d'environ 0,3 bar, sa température étant par exemple d'environ -156°C . A la sortie de la voie d'écoulement 45 de cette fraction de la phase gazeuse liquéfiée et sous-refroidie, les conditions de température et de pression sont par exemple d'environ -52°C et d'environ 0,08 bar, respectivement. L'autre partie de la phase gazeuse liquéfiée et sous-refroidie s'écoule par la voie 40 et est détendue dans l'organe de détente 42 à une pression par exemple d'environ 2,3 bars, sa température étant d'environ -153°C . A la sortie de la voie d'écoulement 44 de cette fraction dans l'échangeur 4, les conditions de température et de pression sont par exemple les suivantes : -152°C et 2,10 bars.

De même, la phase liquide du fluide réfrigérant principal provenant du séparateur de phases 29, est amenée par la conduite 30 dans la voie d'écoulement 31 de l'échangeur de chaleur cryogénique 4 pour y être sous-refroidie jusqu'à une température par exemple d'environ -154°C , à une pression par exemple d'environ 26 bars. Une partie de la phase liquide sous-refroidie du fluide réfrigérant principal traverse l'organe de détente 35 où sa pression est ramenée à par exemple environ 0,3 bar ; tandis qu'une autre partie de la phase liquide sous-refroidie s'écoulant dans la voie 33 est détendue dans l'organe de détente 34 à une pression d'environ 2,3 bars, sa température étant d'environ par exemple -153°C . Après écoulement dans les voies 37 et 36, respectivement, les première et deuxième parties précitées de la phase liquide du fluide réfrigérant

principal présentent les conditions de température et de pression suivantes : -52°C et 0,08 bar, et -52°C et 2,10 bars, respectivement.

5 Ainsi, selon l'invention, une première partie de la phase vapeur du fluide réfrigérant principal, condensée et sous-refroidie est détendue à une première pression, une deuxième partie étant détendue à une deuxième pression, et une première partie de la
10 phase liquide précitée du fluide réfrigérant principal, sous-refroidie est détendue à ladite première pression, une deuxième partie étant détendue à ladite deuxième pression. Il est bien évident que les phases vapeur et liquide peuvent être divisées en un
15 nombre souhaité de parties, par exemple trois ou plus, la pression à laquelle une partie de la phase liquide étant détendue correspondant à la pression à laquelle est détendue une partie correspondante de la phase vapeur.

20 Après la vaporisation, les premières parties des phases vapeur et liquide sont mélangées, et les deuxièmes parties desdites phases vapeur et liquide sont mélangées.

25 Une autre possibilité consiste à mélanger les premières parties des phases vapeur et liquide, et à mélanger les deuxièmes parties des phases vapeur et liquide après la détente mais avant la vaporisation
30 (mode de réalisation illustré par la figure 5).

Enfin, la partie du fluide réfrigérant principal vaporisée à basse pression est admise par la voie d'écoulement 47 dans l'orifice d'aspiration du
35 compresseur 18, tandis que la partie du fluide réfrigérant principal vaporisée à la pression moyenne est admise par la voie d'écoulement 46, et

éventuellement après avoir traversé l'échangeur de chaleur 5 de prérefroidissement du gaz à liquéfier, dans l'orifice d'aspiration du compresseur 19.

5 Le fonctionnement du cycle 3 de fluide réfrigérant
auxiliaire est le suivant : le fluide réfrigérant
auxiliaire, à l'état gazeux, sortant du groupe de
compresseurs 48, 49, 51 est par exemple à une
température d'environ $+46^{\circ}\text{C}$ et à une pression par
10 exemple d'environ 16 bars. Après passage dans les
échangeurs refroidisseurs 52 et 53, la température
du fluide réfrigérant auxiliaire est d'environ $+13^{\circ}\text{C}$,
tandis que sa pression est d'environ 15,1 bars. La
partie du fluide réfrigérant auxiliaire dérivée dans
15 la voie d'écoulement 59 est à une température par
exemple d'environ 0°C et à une pression par exemple
d'environ 15 bars. Après détente dans l'organe de
détente 62, la température s'abaisse à par exemple
environ $-6,5^{\circ}\text{C}$ et la pression à par exemple environ
20 8,5 bars. Les phases vapeur et liquide ainsi obtenues,
séparées par le séparateur de phases 65 s'écoulant
alors dans l'échangeur de chaleur cryogénique 6 par
les voies d'écoulement 77 et 71, respectivement, de
façon à réaliser un échange thermique avec les
25 fluides contenus dans les autres voies d'écoulement
13, 27 et 58 traversant ledit échangeur de chaleur 6.
Lesdites phases vapeur et liquide étant mélangées
après la sortie de l'échangeur 6, les conditions de
température et de pression du fluide réfrigérant
30 auxiliaire sont alors les suivantes : par exemple en-
viron 11°C et par exemple environ 8,5 bars. Cette
partie du fluide réfrigérant auxiliaire est conduite
à l'orifice d'aspiration du compresseur 51 par les
voies d'écoulement 80 et 54.

35

Les conditions de température et de pression de la
deuxième partie du fluide auxiliaire réfrigérant

s'écoulant par la dérivation 60 sont les suivantes :
par exemple environ -25°C et par exemple environ
14,5 bars. Après détente dans l'organe de détente 63,
la température est abaissée à par exemple environ
5 -29°C et la pression à par exemple environ 4 bars.
Les phases vapeur et liquide ainsi obtenues
s'écoulent dans les voies d'écoulement 78 et 72,
respectivement, dans l'échangeur 6 de façon à parti-
ciper à l'échange thermique avec les autres fluides
10 s'écoulant dans ledit échangeur 6, puis sont réunies
après la sortie dudit échangeur 6 dans la voie
d'écoulement 81. Les conditions de température et de
pression de cette partie du fluide réfrigérant
auxiliaire sont alors les suivantes : par exemple
15 environ -3°C et par exemple environ 3,9 bars. Cette
partie du fluide réfrigérant auxiliaire est intro-
duite dans l'orifice d'aspiration du compresseur 49.

De même, une troisième partie du fluide réfrigérant
20 auxiliaire s'écoule dans la voie d'écoulement 61 à
une température par exemple d'environ -50°C et une
pression par exemple d'environ 14,2 bars. Après
détente dans l'organe de détente 64, ces conditions
de température et de pression évoluent comme suit :
25 par exemple environ -54°C et par exemple environ
1,1 bars. Les phases vapeur et liquide ainsi obtenues
sont séparées dans le séparateur de phases 67 puis
s'écoulent par les voies d'écoulement 73 et 79 dans
l'échangeur de chaleur 6 pour participer à l'échange
30 thermique avec les autres fluides qui y circulent.
Ces phases vapeur et liquide une fois réunies, après
la sortie de l'échangeur 6, sont à une température
par exemple d'environ -28°C et à une pression par
exemple d'environ 0,90 bar. Cette troisième partie
35 du fluide réfrigérant auxiliaire est introduite dans
l'orifice d'aspiration du compresseur 48 par la

voie d'écoulement 82.

5 Sur la figure 2, représentant une variante de réalisation de l'appareil selon l'invention, on n'a représenté qu'une partie de celui-ci encadrée en traits mixtes sur la figure 1; le reste de l'appareil étant identique.

10 Dans cette variante, la phase vapeur du fluide réfrigérant principal condensée et sous-refroidie dans l'échangeur 4 est détendue, en une fois, par l'organe de détente 83 à une première pression. La phase liquide du fluide réfrigérant principal sous-refroidie dans l'échangeur 4 est détendue, en une
15 fois, à une deuxième pression différente de ladite première pression, dans l'organe de détente 84. La phase vapeur, détendue par exemple à une basse pression, inférieure à environ 1 bar effectif est conduite, à travers l'échangeur de chaleur 4, par la
20 voie d'écoulement 85, jusqu'à l'orifice d'aspiration du premier condenseur 18; tandis que la phase liquide du fluide réfrigérant principal, détendue à une pression moyenne, notamment comprise entre environ 1,5 et environ 3 bars est conduite, à travers
25 l'échangeur 4, par la voie d'écoulement 86 jusqu'à l'orifice d'aspiration du deuxième compresseur 19. Il est à noter que le fonctionnement général de l'appareil de refroidissement et de liquéfaction d'un gaz à bas point d'ébullition, tel que par exemple du
30 gaz naturel, comportant la variante de la figure 2, est similaire à celui de l'appareil selon la figure 1.

35 On se référera maintenant à la figure 3 représentant une autre variante de la même partie (indiquée par un cadre en traits mixtes sur la figure 1), de l'appareil

que sur la figure 2. Dans ce cas, après détente de la phase vapeur condensée et sous-refroidie dans l'organe de détente 83, les phases gazeuse et liquide ainsi obtenues sont séparées dans un séparateur de phases 87 avant de retraverser, à contre-courant, l'échangeur de chaleur-cryogénique 4. Après vaporisation, les deux phases sont réunies dans la même voie d'écoulement 89 reliée à l'orifice d'aspiration du compresseur 18, la phase vapeur est donc, dans ce cas, détendue à la basse pression précitée.

La phase liquide sous-refroidie du fluide réfrigérant principal est détendue dans l'organe de détente 84, et circule à contre-courant dans l'échangeur 4 à la sortie duquel est reliée la voie d'écoulement 90 elle-même reliée à l'orifice d'aspiration du compresseur 19.

La phase vapeur issue du séparateur 87 peut ne pas repasser dans l'échangeur 4 mais être introduite directement dans la conduite 89.

La figure 6 illustre l'application de cette variante au circuit de réfrigération auxiliaire. Dans ce cas, les conduites 74, 75, 76 issues de l'espace collecteur de vapeur des séparateurs 65, 66, 67 sont reliées directement aux voies d'écoulement 80, 81, 82 sans passer par l'échangeur 6.

La figure 4 est une vue d'une variante de réalisation de la partie de l'appareil encadrée en traits interrompus sur la figure 1, semblable à la variante illustrée par la figure 2. Dans ce cas, l'emplacement de chaque élément du système de détente 83, 84 par rapport à l'échangeur de chaleur cryogénique 4 du

circuit de fluide réfrigérant principal 2, au lieu de se trouver à la sortie de l'échangeur 4 peut être prévu, à un endroit quelconque, le long de l'échangeur 4, dans la direction d'écoulement des différents fluides. Ainsi, comme dans l'exemple représenté, la voie d'écoulement 31 de la phase liquide du fluide réfrigérant principal, ne traverse pas la totalité de l'échangeur 4. Cela permet de réaliser la détente à des niveaux de température différents, dans le cas où, après la vanne, la température pourrait être plus élevée. Le déplacement de la détente selon un gradient de température correspond à un déplacement de l'organe de détente le long de l'échangeur, dans la direction d'écoulement des fluides.

Enfin, comme indiqué ci-dessus, la figure 5 illustre une variante de réalisation dans laquelle les premières parties des phases vapeur et liquide sont mélangées et les deuxièmes parties desdites phases vapeur et liquide sont mélangées, après la détente, dans les vannes 83, 84'; 83', 84, respectivement, mais avant recirculation à contre-courant, dans l'échangeur 4.

On donnera ci-après un exemple de refroidissement et de liquéfaction d'un gaz naturel disponible dans les conditions suivantes :

températures : 20°C

pression : 42,44 bars effectifs

débit massique : 239,908 kg/h

Composition chimique en pourcentage molaire :

N₂ : 0,36

C₁ : 93,06

C₂ : 4,08

C₃ : 1,67

C₄ : 0,83 .

En amont du dispositif de détente final, le gaz liquéfié est obtenu dans les conditions suivantes :

- température - 153,7°C
 5 pression 41,44 bars effectifs
 Débit massique et composition molaire identiques
 aux valeurs précédentes.

10 Un exemple de calcul du procédé, objet de l'invention, conduit aux performances suivantes à titre indicatif.

Cycle de réfrigération principal

Composition molaire :

15	C_1	40%
	C_2	50%
	C_3	10%

pourcentage molaire vaporisé dans le séparateur de phases 29 : 20%.

20

La répartition des fractions liquides et sous-refroidies du réfrigérant principal entre les deux niveaux de pression étant définie par :

25 débit molaire du réfrigérant principal dans le passage 37

$$R_1 = \frac{\text{débit molaire du réfrigérant principal dans le passage 37}}{\text{débit molaire du réfrigérant principal dans le passage 31}}$$

30

débit molaire du réfrigérant principal dans le passage 44

$$R_2 = \frac{\text{débit molaire du réfrigérant principal dans le passage 39 de l'échangeur 4}}{\text{débit molaire du réfrigérant principal dans le passage 39 de l'échangeur 4}}$$

35

$$R_1 = 0,50 \text{ et } R_2 = 0,37$$

Compresseurs :

[illegible]

Rapport des quantités de chaleur échangées aux approches moyennes en température :

Cycle de réfrigération auxiliaire

C_2	40%
C_3	60%

Compresseurs :

Puissance des compresseurs 48, 49, 51 : 17.021 kW.

Revendications

1. Procédé de refroidissement et de liquéfaction d'au moins un gaz à bas point d'ébullition, tel que
- 5 par exemple du gaz naturel, par échange de chaleur avec au moins une partie d'un fluide réfrigérant principal, à plusieurs composants, prérefroidi jusqu'à sa liquéfaction au moins partielle par échange thermique avec un fluide réfrigérant auxiliaire,
- 10 notamment à plusieurs composants, lesdits fluides réfrigérants faisant partie d'une cascade frigorifique incorporée d'au moins ces deux fluides réfrigérants, ledit fluide réfrigérant principal évoluant selon un cycle de refroidissement en circuit fermé
- 15 en y subissant successivement : au moins une compression à l'état gazeux, au moins un refroidissement préliminaire avec condensation au moins partielle, notamment par échange thermique avec ledit fluide réfrigérant auxiliaire, les phases liquide et vapeur
- 20 ainsi obtenues étant ensuite séparées, au moins une réfrigération avec liquéfaction totale puis sous-refroidissement et ensuite détente pour échange de chaleur subséquent, et vaporisation résultante, à contre-courant avec lui-même et avec ledit gaz pour
- 25 liquéfaction au moins partielle de ce dernier, la vapeur ainsi réchauffée étant finalement recomprimée et recyclée, caractérisé en ce que ladite phase vapeur du fluide réfrigérant principal, condensée et sous-refroidie est détendue, en une fois, à au
- 30 moins une première pression, et en ce que ladite phase liquide du fluide réfrigérant principal sous-refroidie est détendue, en une fois, à au moins une deuxième pression, différente de ladite première pression.

35

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en

ce qu'une première partie de la phase vapeur précitée du fluide réfrigérant principal, condensée et sous-refroidie, est détendue à une première pression, une deuxième partie étant détendue à une deuxième

5 pression, et en ce qu'une première partie de la phase liquide précitée du fluide réfrigérant principal, sous-refroidie est détendue à ladite première pression, une deuxième partie étant détendue à ladite deuxième pression.

10

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'après la vaporisation précitée, les premières parties précitées des phases vapeur et liquide précitées sont mélangées et les deuxièmes parties
15 précitées desdites phases vapeur et liquide sont mélangées (figure 1).

4. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'après la détente précitée et avant la vaporisation précitée, les premières parties précitées des phases vapeur et liquide précitées sont mélangées,
20 et les deuxièmes parties précitées desdites phases vapeur et liquide sont mélangées (figure 5).

25 5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les phases vapeur et liquide de la phase vapeur du fluide réfrigérant principal obtenues après la détente précitée sont séparées avant échange de chaleur avec le gaz à
30 liquéfier précité et le fluide réfrigérant principal avant détente (figure 3).

6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la première pression précitée
35 est une basse pression inférieure à environ 1 bar effectif et en ce que la deuxième pression précitée

est une pression moyenne comprise entre environ 1,5 bars effectifs et environ 3 bars effectifs.

- 5 7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins une partie du gaz à liquéfier précité est prérefroidie par échange thermique avec au moins une partie du fluide réfrigérant auxiliaire précité.
- 10 8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins une partie du gaz à liquéfier précité est prérefroidie par échange thermique avec au moins une partie de la vapeur réchauffée précitée à la première ou à la deuxième
- 15 pression précitée.
- 20 9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins une partie du fluide réfrigérant principal précité est prérefroidie par échange thermique avec au moins une partie de la vapeur réchauffée précitée à la première ou à la deuxième pression précitée.
- 25 10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le fluide réfrigérant auxiliaire précité évolue selon un cycle de refroidissement en circuit fermé en y subissant successivement : au moins une compression à l'état gazeux; au moins un refroidissement préliminaire avec éventuellement
- 30 condensation au moins partielle par échange thermique avec un agent refroidisseur de préférence d'origine externe; au moins une auto-réfrigération avec liquéfaction totale puis sous-refroidissement et
- 35 ensuite détente pour échange de chaleur subséquent et vaporisation résultante concomitante à contre-courant avec lui-même avant sa détente et avec le

fluide réfrigérant principal, et éventuellement le gaz à liquéfier, la vapeur ainsi réchauffée étant recyclée et recomprimée, caractérisé en ce que la détente du fluide réfrigérant auxiliaire, avant
 5 vaporisation, s'effectue à au moins deux niveaux de pression, notamment à trois niveaux de pression.

11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'on sépare les phases vapeur et liquide du
 10 fluide réfrigérant auxiliaire obtenues après détente.

12. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le fluide réfrigérant principal précité a la composition molaire suivante :

15	azote N_2	0% à 2%
	méthane CH_4	35% à 55%
	éthylène C_2H_4 ou éthane C_2H_6	28% à 65%
	propylène C_3H_6 , propane C_3H_8	0% à 15%.

20 13. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le fluide réfrigérant auxiliaire précité a la composition molaire suivante :

	éthylène C_2H_4 ou éthane C_2H_6	30% à 70%
25	propylène C_3H_6 ou propane C_3H_8	70% à 30% .

14. Appareil pour la mise en oeuvre du procédé selon au moins l'une des revendications précédentes, du type comprenant au moins les circuits suivants :

30

- un circuit ouvert de gaz à liquéfier (1);

- un circuit fermé de fluide réfrigérant principal (2) en relation d'échange thermique avec ledit
 35 circuit de gaz (1) au moyen d'au moins un échangeur de chaleur cryogénique (4), et faisant partie d'une

cascade frigorifique incorporée d'au moins deux fluides réfrigérants, respectivement principal et auxiliaire;

5 - un circuit fermé de fluide réfrigérant auxiliaire (3) en relation d'échange thermique avec ledit circuit de fluide réfrigérant principal (2), et éventuellement ledit circuit de gaz à liquéfier (1),
10 au moyen d'au moins un échangeur de chaleur cryogénique (6) de prérefroidissement et de liquéfaction au moins partielle dudit fluide réfrigérant principal, ledit circuit fermé de fluide réfrigérant principal (2) comprenant successivement : au moins un compresseur (18, 19, 22, 23); et éventuellement au moins
15 un échangeur de chaleur ou refroidisseur (20, 24, 26), relié à une voie d'écoulement (27) du fluide réfrigérant principal traversant ledit échangeur cryogénique (6) du circuit de fluide réfrigérant auxiliaire (3), un séparateur (29) des phases vapeur et liquide ainsi
20 obtenues, ledit échangeur de chaleur cryogénique (4) et un système de détente (34, 35, 42, 43) comprenant un organe de détente dans la voie d'écoulement de chaque fraction du fluide réfrigérant principal, relié audit compresseur, caractérisé en ce que ledit
25 échangeur de chaleur cryogénique (4) dudit circuit de fluide réfrigérant principal (2) est un échangeur à plaques comportant des voies de passage différentes (15, 31, 36, 37, 39, 44, 45), pour chacun des fluides en présence lors de l'échange thermique, à savoir le
30 gaz à liquéfier, les phases ou fractions liquide et vapeur du fluide réfrigérant principal partiellement condensé, ainsi que les fractions issues des précédentes, détendues à différents niveaux de pression.

35 15. Appareil selon la revendication 14, caractérisé en ce que l'emplacement de chaque élément du système

de détente précité par rapport à l'échangeur de
chaleur cryogénique (4) précité du circuit de
fluide réfrigérant principal (2) est modifiable pour
chaque fraction précitée du fluide réfrigérant
5 principal.

16. Appareil selon la revendication 14 ou 15,
caractérisé par un séparateur (87) des phases vapeur
et liquide, en aval de l'organe de détente (83)
10 précité, dans la voie d'écoulement de la fraction
vapeur du fluide réfrigérant principal.

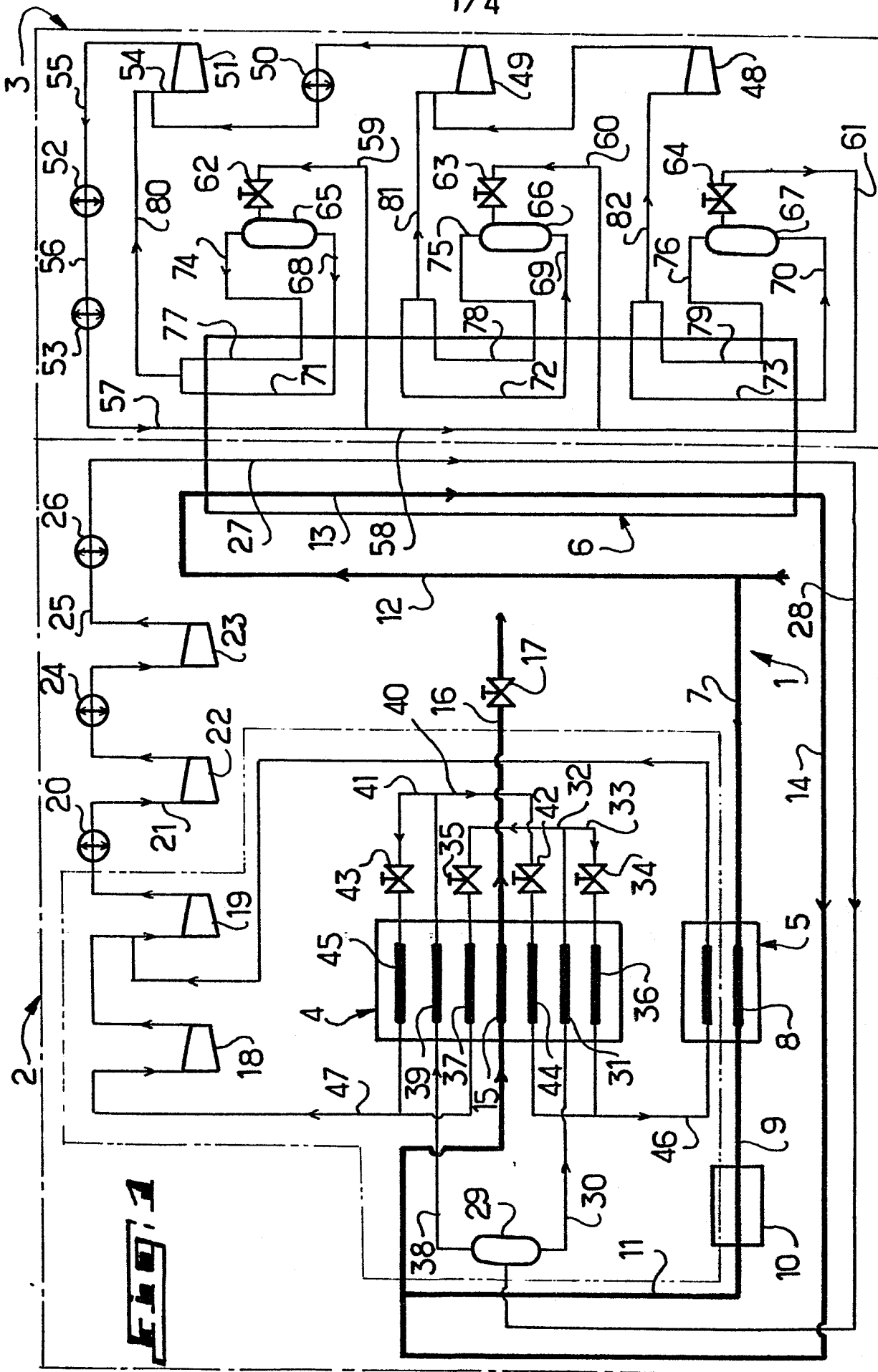
17. Appareil selon l'une des revendications 14 à 16,
caractérisé par un échangeur de chaleur (5), en
15 amont de l'échangeur de chaleur cryogénique (4)
précité du circuit de fluide réfrigérant principal
(2), traversé, notamment à contre-courant, d'une part
par le fluide réfrigérant principal vaporisé après
détente dans ledit échangeur de chaleur cryogénique
20 (4) et, d'autre part, par au moins une partie du gaz
à liquéfier et/ou du fluide réfrigérant principal.

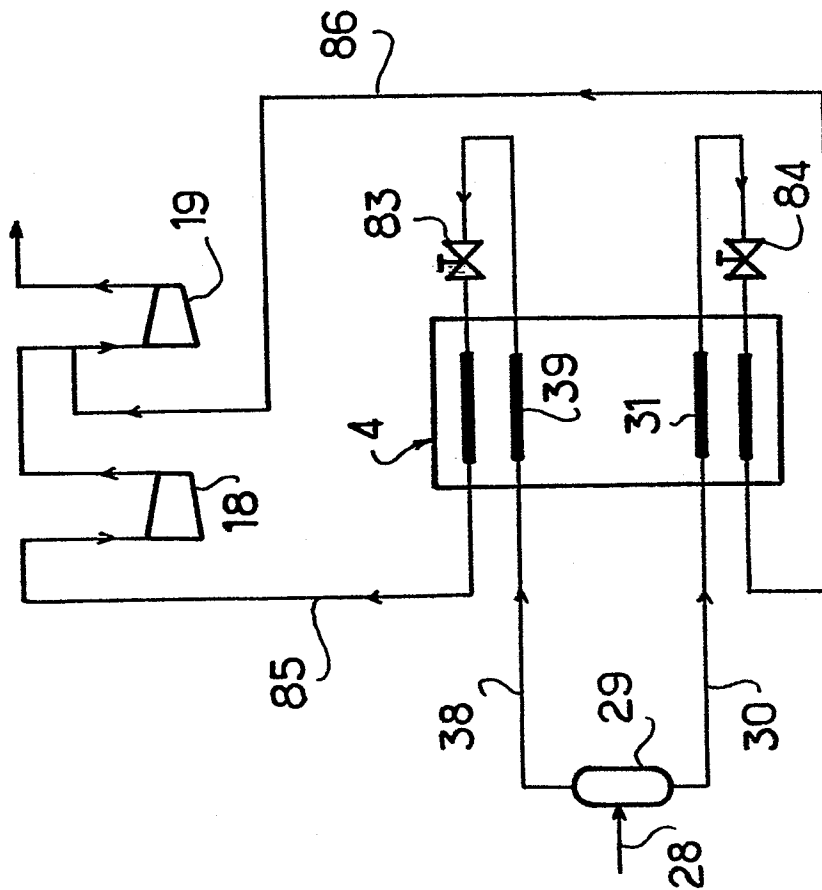
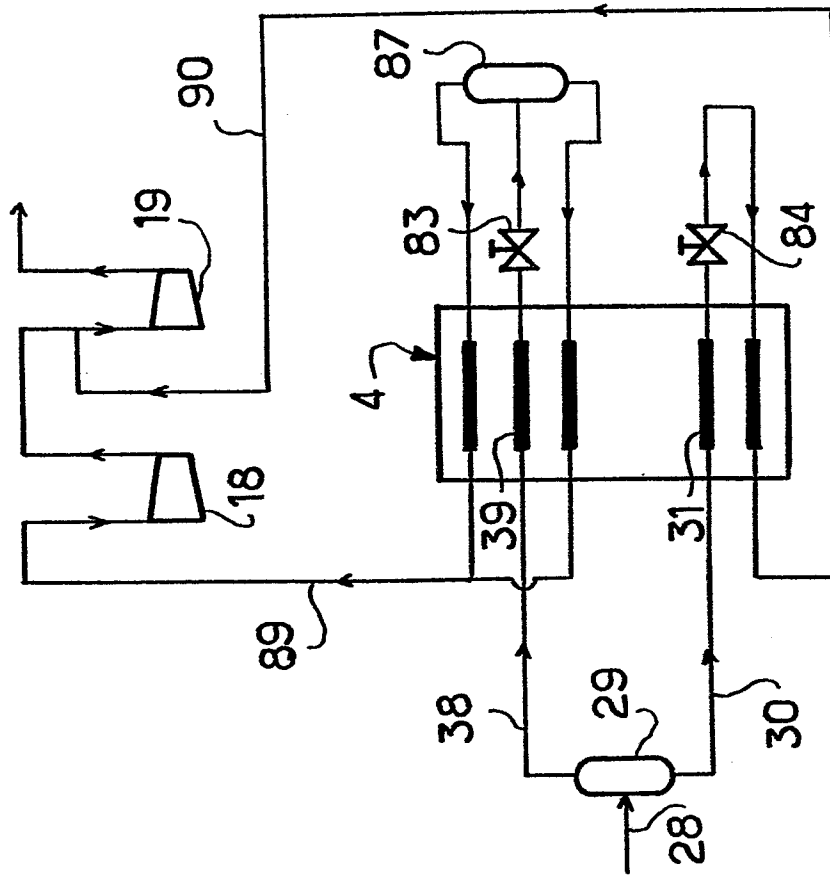
18. Appareil selon l'une des revendications 14 à 17,
caractérisé en ce que le circuit de gaz à liquéfier
25 (1) précité comprend une voie d'écoulement (7, 9, 11)
vers et à travers l'échangeur de chaleur (4) précité
du circuit de fluide réfrigérant principal (2), et
comporte, en aval dudit échangeur, un organe de
détente (17); une dérivation (12, 13, 14) de ladite
30 voie traversant l'échangeur de chaleur (6) précité
du circuit de fluide réfrigérant auxiliaire (3)
avant de rejoindre ladite voie (11) d'écoulement
avant ledit échangeur de chaleur cryogénique (4) du circuit de
fluide réfrigérant principal (2).

35

19. Appareil selon l'une des revendications 14 à 18,

- du type où le circuit de fluide réfrigérant auxiliaire précité comprend successivement : au moins un compresseur (48, 49, 51) , au moins un échangeur-refroidisseur (50, 52, 53) à fluide réfrigérant de
- 5 préférence d'origine externe; l'échangeur de chaleur cryogénique (6) précité étant traversé par une voie d'écoulement (58) de fluide réfrigérant auxiliaire précité comportant au moins un organe de détente et par au moins une voie d'écoulement, à contre-courant,
- 10 dudit fluide réfrigérant après détente, caractérisé en ce que ladite voie d'écoulement (58) du fluide réfrigérant auxiliaire dans ledit échangeur cryogénique (6) présente au moins deux dérivations, par exemple trois (59, 60, 61) comportant chacune un
- 15 organe de détente (62, 63, 64), la partie de chaque dérivation en aval dudit organe de détente traversant la partie correspondante dudit échangeur cryogénique sensiblement parallèlement à ladite voie d'écoulement, et à contre-courant.
- 20
20. Appareil selon la revendication 19, caractérisé en ce qu'un séparateur de phases vapeur et liquide (65, 66, 67) est prévu en aval de l'organe de
- 25 détente (62, 63, 64) précité; la partie de la dérivation précitée, en aval dudit séparateur, étant divisée en une voie d'écoulement de la phase vapeur (74, 77; 75, 78; 76, 79) et une voie d'écoulement de la phase liquide (68, 71; 69, 72; 70, 73).
- 30 21. Appareil selon la revendication 20, caractérisé en ce que les voies d'écoulement précitées (68, 71; 69, 72; 70, 73) de la phase liquide traverse la partie correspondante de l'échangeur cryogénique précité (6) avant de rejoindre les voies d'écoulement
- 35 (74, 75, 76) précitées de la phase vapeur qui n'ont pas traversé ledit échangeur (6).





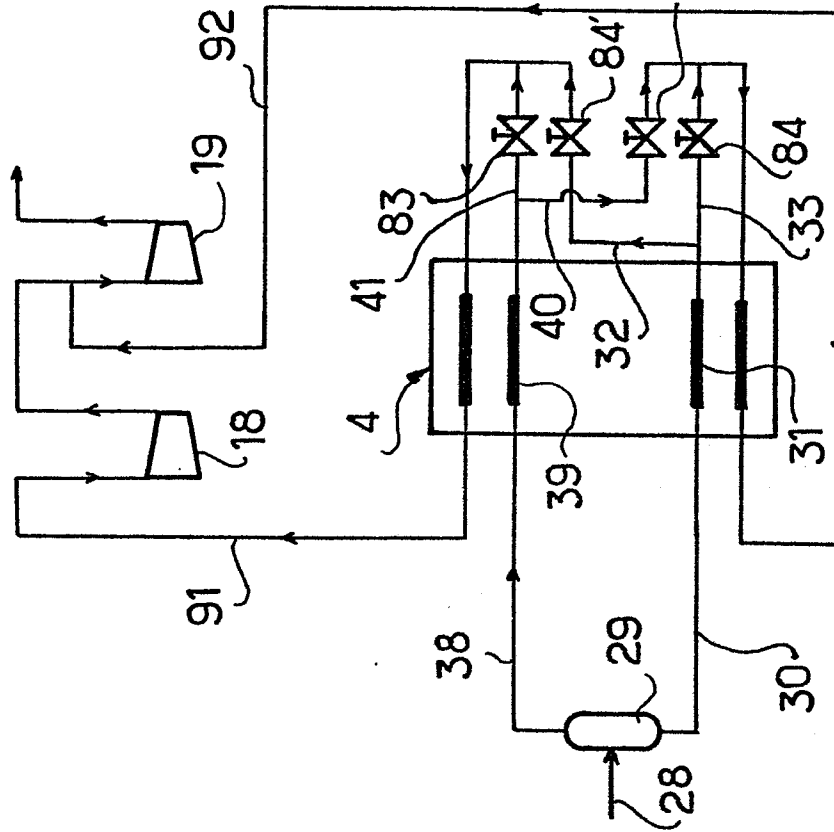


Fig. 5

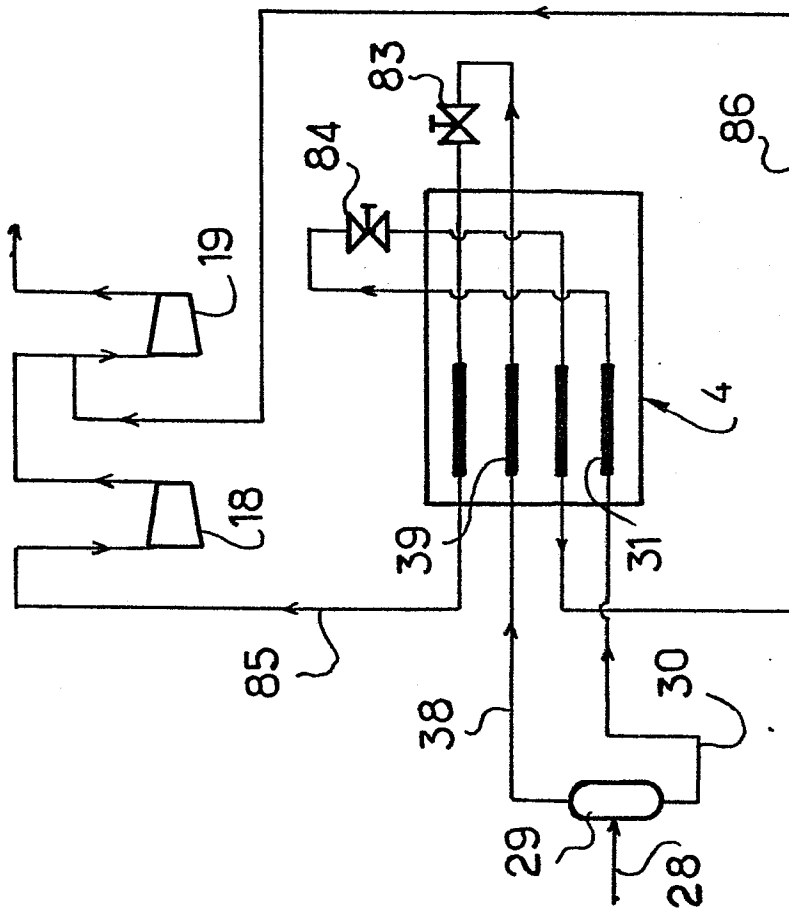


Fig. 4

