

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 0 818 661 A1**

(12)

**DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:

**14.01.1998 Bulletin 1998/03**(51) Int Cl.<sup>6</sup>: **F25J 3/06, F25J 1/02**(21) Numéro de dépôt: **97401367.4**(22) Date de dépôt: **16.06.1997**

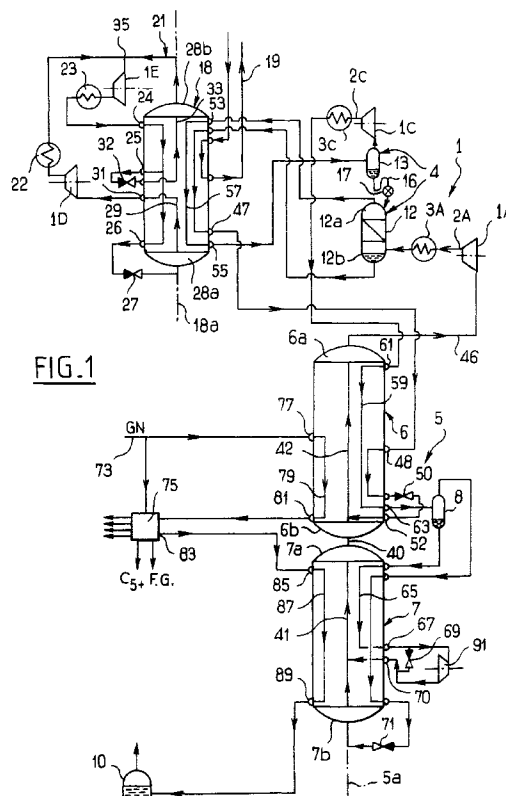
(84) Etats contractants désignés:

**AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC  
NL PT SE**(30) Priorité: **12.07.1996 FR 9608758**(71) Demandeur: **GAZ DE FRANCE (SERVICE  
NATIONAL)  
F-75017 Paris (FR)**(72) Inventeur: **Grenier, Maurice  
75018 Paris (FR)**(74) Mandataire: **Lerner, François et al  
5, rue Jules Lefèbvre  
75009 Paris (FR)**(54) **Procédé et installation perfectionnés de refroidissement, en particulier pour la liquéfaction de gaz naturel**

(57) Il s'agit de liquéfier du gaz naturel. Pour cela :

on comprime un mélange frigorigène dans un avant-dernier étage (1A) parmi plusieurs étages d'une unité de compression (1) ; on condense partiellement (en 3A) le mélange pour le refroidir sensiblement la température ambiante ; on sépare le mélange condensé (en 12) pour obtenir une fraction vapeur et une fraction liquide ; on refroidit et on condense partiellement ladite fraction vapeur ; on envoie la fraction vapeur résultante vers le dernier étage de compression (1C), et on refroidit, on expand et on fait circuler dans au moins des premiers moyens (5) d'échange thermique avec le fluide à refroidir, au moins la fraction vapeur haute pression et ladite fraction liquide.

Par ailleurs, selon l'invention, lors de la condensation de ladite fraction vapeur, on refroidit cette fraction vapeur issue de la séparation du mélange condensé (en 12) en la faisant circuler en échange de chaleur avec un fluide réfrigérant, dans des seconds moyens d'échange thermique (18).

**FIG.1****EP 0 818 661 A1**

## Description

La présente invention est relative au refroidissement des fluides et s'applique en particulier à la liquéfaction du gaz naturel.

Dans ce cadre, l'invention concerne tout d'abord un procédé dans lequel :

- a) on comprime un mélange frigorigène pouvant être composé de constituants de volatilités différentes, dans un avant-dernier étage parmi plusieurs étages d'une unité de compression,
- b) on condense partiellement, par refroidissement, le mélange frigorigène ainsi comprimé,
- c) on sépare le mélange frigorigène condensé pour obtenir une fraction vapeur et une fraction liquide,
- d) on refroidit ladite fraction vapeur en provoquant une condensation partielle,
- e) on envoie la fraction vapeur résultante vers le dernier étage de compression pour obtenir une fraction vapeur haute pression,
- f) on refroidit, on réalise une expansion et on fait circuler dans au moins une première unité d'échange thermique en échange indirect de chaleur avec le fluide à refroidir, au moins certaines desdites fraction vapeur haute pression et fraction liquide.

Une telle manière de procéder est connue.

Ainsi, dans WO-A-94 24500 (qui est inclus dans la présente description par référence), est décrit un tel procédé dans lequel on comprime en au moins deux stades, dans une installation du type à cascade incorporée intégrale, un mélange frigorigène composé de constituants de volatilités différentes, et, après au moins chacun des stades intermédiaires de compression (c'est-à-dire des stades précédant le dernier étage haute pression) on condense partiellement le mélange frigorigène, certaines au moins des fractions condensées ainsi que la fraction gazeuse haute pression étant refroidies, détendues (ou expansées) et mises en relation d'échange de chaleur avec le fluide à refroidir, puis comprimées de nouveau, le gaz issu de l'avant-dernier étage de compression étant par ailleurs distillé dans un appareil de distillation dont on refroidit la tête avec un liquide ayant une température inférieure à une température dite "de référence", ou "ambiante", pour former d'une part le condensat liquide de cet avant-dernier étage de compression et, d'autre part, une phase vapeur qui est envoyée au dernier stade de compression.

De préférence, cette même publication prévoit de refroidir et de condenser partiellement la vapeur de tête de l'appareil de distillation, par échange de chaleur (dans une unité d'échange thermique à deux échangeurs à plaques disposés en série) avec au moins lesdites fractions détendues, pour obtenir une phase vapeur et une phase liquide, et de refroidir la tête de l'appareil de distillation avec la phase liquide ainsi obtenue, la phase vapeur constituant ladite phase qui est en-

voyée au dernier étage de compression.

On notera que dans la présente description, comme dans WO-A-94 24500, les pressions dont il est question sont des pressions absolues.

- 5 Par ailleurs, le mélange frigorigène dont on a déjà parlé, doit être considéré comme constitué d'un certain nombre de fluides dont, en autres, l'azote et des hydrocarbures comme le méthane, l'éthylène, l'éthane, le propane, le butane, le pentane, etc...

- 10 On définira par ailleurs la "température ambiante" comme la température de référence thermodynamique correspondant à la température du fluide de refroidissement (eau ou air notamment) disponible sur le site d'utilisation du procédé et utilisé dans le cycle, augmentée de l'écart de température que l'on se fixe, par construction, à la sortie des appareils réfrigérants de l'installation (compresseur, échangeur,...). En pratique, cet écart sera d'environ 1°C à 20°C, et de préférence de l'ordre de 3°C à 15°C.

- 20 On notera également dès à présent que si on utilise un appareil de distillation, on aura avantage à refroidir sa tête avec un fluide (liquide) de telle sorte que :

- ledit fluide (liquide) destiné au refroidissement de cette tête soit lui-même refroidi à une température inférieure à ladite température "de référence" ou "ambiante" (voire même inférieure à la température du fluide de refroidissement utilisé sur le site dans les échangeurs),
- 30 - et que la différence de température entre cette température "ambiante" et la température du fluide (liquide) destiné au refroidissement de la tête du distillateur soit comprise entre environ 20°C et 55°C, et typiquement de 30°C à 45°C.

- 35 Typiquement, la température du fluide de refroidissement disponible sur le site (air, eau de mer ou de rivière ...) sera comprise environ entre -20°C et + 45°C.

- 40 Pour intéressant que soient le procédé et l'installation de WO-A-94 24500, il s'est toutefois avéré que l'on peut encore obtenir un gain d'énergie mécanique globale utilisée pour le refroidissement recherché et améliorer l'efficacité thermodynamique de cette opération de refroidissement, tout particulièrement s'il s'agit de liquéfier le gaz naturel, ceci avec une fiabilité et une rentabilité d'installation potentiellement meilleures.

- 45 La solution proposée dans l'invention pour tendre vers ces objectifs est, lors de l'étape d) précitée, de refroidir la fraction vapeur issue de la séparation du mélange frigorigène condensé, en faisant circuler cette fraction vapeur en échange de chaleur (indirect) avec un fluide réfrigérant, dans une seconde unité d'échange thermique.

- 50 L'énergie mécanique nécessaire au fonctionnement de ce second "groupe frigorigène" devrait, d'après les calculs, être inférieure à 10 % de l'énergie mécanique totale nécessaire à l'ensemble de l'installation, ceci permettant par exemple d'entraîner ce second groupe

par un moteur électrique à partir du moteur de lancement de la turbine à gaz de l'unité de compression du mélange frigorigène, utilisée alors en génératrice.

Par ailleurs, avec un tel procédé appliqué à la liquéfaction de gaz naturel, la production de gaz naturel liquéfié pourrait être augmentée de plus de 10 % par rapport à la solution à deux étages de compression de WO-A-94 24500.

Du fait de l'adjonction d'un deuxième groupe frigorigène, par rapport à la solution de WO-A-94 24500, le coût d'investissement en matériel pour une production de GNL donnée, sera probablement augmenté. Par contre, le gain en tuyauterie peut être non négligeable.

A noter également que la technologie de l'échangeur chaud du premier groupe frigorigène est également simplifiée. L'invention permet en effet de délester partiellement de leur travail thermique, une partie de ladite "première unité d'échange thermique", ceci permettant d'optimiser d'autres éléments du cycle.

Si une colonne de distillation est utilisée, une première optimisation du refroidissement de sa tête va par ailleurs être possible, en comparaison de ce qui est prévu dans WO-A-94 24500.

Pour cela, on conseille, lors des étapes c), d) et e) précitées :

- de séparer dans ledit appareil de distillation le mélange (partiellement) condensé,
- de condenser (à nouveau en partie) dans ladite seconde unité d'échange thermique la fraction vapeur issue de cet appareil de distillation, pour obtenir une fraction vapeur condensée,
- de faire passer dans un séparateur la fraction vapeur condensée, pour obtenir une fraction vapeur et une fraction liquide,
- d'envoyer la fraction vapeur issue du séparateur dans le dernier étage de compression,
- et de renvoyer la fraction liquide issue dudit séparateur dans la tête de colonne de l'appareil de distillation, pour la refroidir.

A noter qu'en place de l'appareil de distillation, un autre séparateur peut être utilisé.

Dans ce cas :

- \* on fait passer dans un second séparateur ladite fraction vapeur condensée pour obtenir une fraction vapeur et une fraction liquide,
- \* on envoie la fraction vapeur issue du second séparateur dans le dernier étage de compression,
- \* et on envoie la fraction liquide issue du second séparateur vers ladite première unité d'échange thermique.

De préférence, dans un cas comme dans l'autre, on conseille par ailleurs :

- \* de faire circuler la fraction liquide issue de l'étape

c) dans la seconde unité d'échange thermique, sensiblement entre les extrémités chaude et froide de l'unité,

- \* et d'admettre la fraction liquide ainsi refroidie, en partie intermédiaire d'un premier échangeur chaud parmi deux échangeurs de chaleur disposés en série, l'un chaud, l'autre froid, appartenant à ladite première unité d'échange thermique.

Outre ce qui précède, le procédé de l'invention peut par ailleurs comprendre une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- à l'extérieur de la seconde unité d'échange thermique, on fait circuler le fluide réfrigérant dans un cycle de réfrigération en circuit fermé, soit à un étage unique de compression, soit à deux étages successifs de compression, avec, en sortie du réfrigérant final (23 sur la figure 1), une condensation totale du fluide réfrigérant;
- si le fluide à refroidir est du gaz naturel, avant d'admettre ce gaz naturel dans ladite première unité d'échange thermique, on le fait circuler d'abord dans ladite "seconde unité d'échange thermique" et, avant ou après sa circulation dans cette seconde unité, on fait passer le gaz naturel dans une unité de dessiccation ;
- lors de l'étape f) précitée, on refroidit la fraction vapeur haute pression après le dernier étage de compression, et on la fait circuler dans ladite seconde unité d'échange thermique, pour la refroidir encore par échange de chaleur avec le fluide réfrigérant avant de l'envoyer dans la première unité d'échange thermique,
- en sortie du dernier étage de compression de ladite unité de compression, on refroidit la fraction vapeur haute pression et on l'envoie dans une entrée intermédiaire d'un premier échangeur chaud, parmi deux échangeurs disposés en série, l'un chaud, l'autre froid, constituant ladite première unité d'échange thermique ;
- entre les étapes b) et c) susmentionnées, on fait circuler le mélange condensé dans la seconde unité d'échange thermique ;
- on fait circuler isolément un fluide caloporteur dans la seconde unité d'échange thermique ;
- dans l'hypothèse où le gaz à refroidir est du gaz naturel,

- \* avant de faire circuler ce gaz naturel dans la première unité d'échange thermique, on lui fait subir une dessiccation,
- \* et, après dessiccation, on fait passer le gaz naturel sec, à l'intérieur de la première unité d'échange thermique, d'abord dans une première partie d'un premier échangeur chaud parmi deux échangeurs disposés en série, l'un chaud, l'autre froid, constituant ladite première

unité d'échange thermique, puis dans une partie dudit second échangeur de cette première unité d'échange thermique, avant de passer dans une unité de fractionnement extérieure à ladite première unité d'échange thermique.

A noter encore que l'étape b) précitée pourrait éventuellement être supprimée de telle sorte qu'il n'y ait pas d'appareil réfrigérant entre la sortie du compresseur de l'avant dernier étage et l'entrée de l'appareil de séparation (distillateur en particulier), et qu'ainsi on ne condense pas le mélange frigorigène comprimé avant de le séparer dans l'étape c). Ainsi, on réalisera alors le procédé conformément à la revendication 19 ci-après, sur la base alors de l'art antérieur EP-A 117 793 avec, dans ce cas, circulation de la fraction liquide issue de la séparation du mélange comprimé dans des moyens d'échange thermique (repérés 4A, 10, dans EP-A-117 793) distincts desdits "premiers moyens d'échange thermique" (repérés 11, 15 dans EP'793), avant d'y circuler elle-même.

L'invention a également pour objet une installation de refroidissement, en particulier de liquéfaction de gaz naturel, qui peut être utilisée pour la mise en oeuvre du procédé présenté ci-avant.

Ainsi est-il prévu que l'installation de l'invention comprenne, en tant que moyen de refroidissement de la fraction vapeur obtenue en sortie de ladite première unité de séparation, avant l'entrée de cette fraction vapeur dans le dernier étage de compression, des seconds moyens d'échange thermique où cette fraction vapeur va être placée en échange de chaleur avec le fluide réfrigérant cité avant.

Cette caractéristique et d'autres apparaissent dans les revendications 20 à 31 ci-après.

Une description plus détaillée de l'invention va maintenant être donnée, en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

Les figures 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7 représentent autant de modes de réalisation possibles de l'installation de l'invention qu'il y a de figures.

L'installation de liquéfaction de gaz naturel représentée aux figures, et notamment sur la figure 1, comprend en particulier une unité de compression de cycle 1 à deux étages de compression 1A, 1C, chaque étage refoulant par l'intermédiaire d'une conduite 2A, 2C dans un condenseur ou réfrigérant, respectivement 3A, 3C, refroidis à l'eau ou à l'air, le fluide disponible utilisé ayant typiquement une température de l'ordre de +25°C à +35°C ; des moyens de séparation repérés dans leur ensemble 4, interposés entre les deux étages de compression 1A et 1C de manière à alimenter l'étage haute pression 1C avec une fraction vapeur issue de ces moyens de séparation ; une première unité 5 d'échange thermique comprenant deux échangeurs de chaleur en série, à savoir un échangeur "chaud" 6 et un échangeur "froid" 7 ; un pot séparateur intermédiaire 8 ; et un stockage de gaz naturel liquéfié (GNL) 10.

Les moyens de séparation 4 peuvent être constitués soit par un appareil de distillation 12 dont la partie supérieure de tête 12a est refroidie par un liquide provenant d'un séparateur 13 (figures 1 à 5 et 7), ou par deux pots séparateurs 14, 15, la fraction vapeur de l'appareil de distillation 12 ou du premier séparateur 14 circulant dans le séparateur associé (respectivement 13, 15) avant d'être admise en entrée de l'étage de compression haute pression 1C.

Dans l'hypothèse de l'utilisation d'une colonne de distillation 12, la sortie du condenseur 3A communique avec la partie inférieure de cuve 12b de la colonne de distillation 12 et la partie inférieure du séparateur 13 est reliée par gravité ou par pompe, via un siphon 16 et une vanne de réglage 17, à la tête 12a de la colonne 12.

Conformément à une caractéristique importante de l'invention, l'installation de liquéfaction de gaz naturel comprend en outre, sur les différents modes de réalisation des figures 1 à 7, une seconde unité d'échange thermique 18 constituant un second groupe frigorigène, indépendant du premier, 5.

Ce second groupe frigorigène a en particulier pour rôle, en combinaison ou en alternative :

- 25 - de refroidir la fraction vapeur issue des premiers moyens de séparation 12 ou 14, avant qu'elle passe dans les seconds moyens de séparation 13, 15,
- de refroidir la fraction liquide issue desdits premiers moyens de séparation 12, 14, avant de l'envoyer dans le premier 6, des deux échangeurs de la première unité d'échange thermique 5,
- 30 - d'assurer un refroidissement d'un circuit auxiliaire 19 (figures 1, 2 et 4 à 7) dans lequel circule soit du pentane, soit du gaz naturel avant décarbonatation et dessiccation (c'est-à-dire relativement humide),
- 35 - ou encore, par le circuit 20 de la figure 3, de refroidir du gaz naturel déjà sec mais non encore fractionné, avant de l'envoyer dans la première unité d'échange thermique 5 pour le liquéfier, avec élimination intermédiaire d'hydrocarbures en C2+, dans l'unité de fractionnement 75.
- 40

Concernant le circuit auxiliaire 19, il peut passer dans la partie la plus chaude de l'échangeur 18 qui est alors utilisée pour refroidir de +40°C à +20°C environ le fluide caloporteur qui y circule, ce fluide (s'il ne s'agit pas de gaz naturel) pouvant servir à réfrigérer une autre partie de l'installation, par exemple du gaz naturel brut destiné à être séché avant son traitement dans l'installation.

Dans l'échangeur thermique 18, le fluide circulant dans chacun des circuits de refroidissement précité est refroidi par échange de chaleur indirect avec un fluide réfrigérant, tel qu'un fluide "pur", ou mélange binaire ou ternaire, circulant en circuit fermé dans le cycle régénérant 21 ou 21'.

Sur les figures 1, 3, 4, 5 et 7, le circuit de régénération 21 se présente comme un cycle de réfrigération

à deux étages de compression, comprenant un étage basse pression 1D (de l'ordre de 2,5 à 3,5 bars) et un étage de compression haute pression 1E (fonctionnant à environ 6 à 8 bars), éventuellement un réfrigérant 22, et un condenseur 23 condensant le mélange en circulation.

Ce mélange peut en particulier comprendre environ 60 % de butane et environ 40 % de propane. Un fluide "pur" peut toutefois être utilisé, en alternative.

Le mélange qui sort de l'étage haute pression 1E est totalement condensé dans le condenseur 23, de telle sorte que c'est un mélange liquide qui est admis à l'extrémité supérieure chaude (environ 40°C) de l'échangeur 18.

Sensiblement à la moitié de la longueur axiale (axe 18a) de l'échangeur, une partie du mélange refroidi jusqu'aux environs de 20°C est sortie en 25, tandis que la partie restante continue à circuler jusque vers l'extrémité inférieure froide de l'échangeur, pour ressortir en 26 aux environs de 8°C et être détendue en 27 à la basse pression du cycle avant d'être réintroduite axialement à travers le dôme inférieur froid 28a de l'échangeur dans des passages 29 où le mélange liquide basse pression est vaporisé avant de ressortir latéralement en 31 sensiblement à mi-longueur axiale de l'échangeur et être admis dans l'étage basse pression 1D.

En sortie de l'étage de compression 1D, le mélange réfrigérant, à l'état gazeux, peut être refroidi dans le réfrigérant 22, avant d'être admis en entrée de l'étage haute pression 1E, en mélange avec la partie du mélange binaire que l'on a récupéré en 25, détendu à une pression de cycle intermédiaire (de l'ordre de...) en 32, réintroduit dans l'échangeur 18 pour une circulation axiale sur environ la moitié de la longueur de l'échangeur, de manière à être vaporisé dans les passages axiaux 33, le mélange vaporisé ressortant axialement à travers le dôme supérieur "chaud" 28b avant d'être donc mélangé en 35 à la partie du mélange à l'état gazeux issue de l'étage 1D.

Les échangeurs 6, 7 et 18 sont de préférence des échangeurs à plaques, ces plaques étant de préférence équipées d'ailettes (ou ondes). Ces échangeurs qui sont métalliques peuvent être par exemple à plaques et à ailettes en aluminium.

Concernant spécifiquement les deux échangeurs 6, 7, ils peuvent être brasés ou soudés coaxialement bout à bout, en série, pour une circulation à contre-courant des fluides mis en relation d'échange thermique, et peuvent avoir la même longueur.

Ils présentent en outre des passages entre les plaques nécessaires au fonctionnement qui va être décrit ci-après.

Avant cela, on notera toutefois qu'à l'endroit de la liaison bout à bout 40 "sur dômes" entre l'échangeur "froid" 7 et l'échangeur "chaud" 6, les passages de retour, 41 pour l'échangeur 7 et 42 pour l'échangeur 6 (dans lesquels le mélange frigorigène circule à contre-courant de la circulation dans les autres passages de

ces échangeurs) communiquent entre eux directement dans la zone intermédiaire 40, ainsi que cela avait déjà été prévu dans WO-A-94 24500.

A noter qu'un tel passage direct en 40 entre le dôme supérieur 7a de l'échangeur 7 et le dôme inférieur 6b de l'échangeur 6, sur au moins l'essentiel de la section des deux échangeurs, ne peut être réalisée qu'en évitant une redistribution diphasique à la coupure 40, comme d'ailleurs dans WO-A-94 24500.

Avec une installation telle que présentée ci-avant, le mélange frigorigène constitué d'hydrocarbures en C1 à C6 et d'azote, sort à l'état gazeux du sommet 6a (extrémité dite "chaude") de l'échangeur 6 (via les passages 42) et parvient, via la conduite de recyclage 46, à l'aspiration du premier étage de compression 1A.

Ce mélange gazeux est alors comprimé à une première pression intermédiaire  $P_i$ , typiquement de l'ordre de 12 à 20 bars, puis est refroidi vers +30°C à +40°C environ en 3A, avec condensation partielle, et séparé en une fraction vapeur et une fraction liquide dans l'appareil de distillation 12.

Le liquide de cuve de la colonne 12 (récupéré en 12b) constitue un premier liquide réfrigérant adapté pour assurer l'essentiel de la réfrigération de l'échangeur chaud 6, après refroidissement dans l'échangeur 18.

Pour cela, ce liquide de cuve est admis (aux environs de 30°C à 40°C) vers l'extrémité "chaude" 28b de l'échangeur 18 dans lequel il circule, jusque vers son extrémité "froide" 28a, pour ressortir en 47 aux environs de 8°C, cette fraction liquide refroidie étant ensuite introduite sensiblement à la même température à l'endroit d'une entrée latérale intermédiaire 48, sensiblement à mi-longueur de l'échangeur chaud 6, pour en ressortir à nouveau latéralement vers son extrémité "froide" 6b, aux environs de -20°C à -40°C, être détendue (ou subir une expansion) à la basse pression du cycle (2,5 à 3,5 bar) dans une vanne de détente 50 et être réintroduite sous forme diphasique, toujours au bout froid 6b du même échangeur, via la boîte latérale d'entrée 52 et un dispositif de distribution approprié, pour être vaporisée dans les passages basse pression 42 de l'échangeur.

La vapeur de tête de la colonne de distillation 12, récupérée en sortie de la tête 12a, circule quant à elle, comme illustré aux figures 1 à 5 et 7, entre sensiblement les extrémités chaude 28b et froide 28a de l'échangeur 18, avec entrée et sortie vers les deux extrémités en 53 et 55 respectivement, de manière à être refroidie et partiellement condensée dans les passages 57 de l'échangeur jusqu'à une température intermédiaire inférieure à ladite température "ambiante", par exemple de +5°C à +10°C, puis introduite dans le pot séparateur 13. En pratique, la température atteinte pourra même (éventuellement) être inférieure à la température du "fluide de refroidissement" disponible sur le site.

La phase liquide récupérée à la base du séparateur 13 retourne, par l'intermédiaire du siphon 16 et de la vanne de réglage 17, en tête de la colonne 12 pour la

refroidir, tandis que la phase vapeur du séparateur est comprimée à la haute pression du cycle (de l'ordre de 40 à 45 bar) en 1C puis est ramenée vers +30°C à +40°C dans le réfrigérant 3C. Dans ce cas, la température de la tête de la colonne 12 sera donc inférieure à ladite température "ambiante", voire à la température du "fluide de refroidissement" disponible sur le site, même si on aurait pu imaginer que cette température soit supérieure, notamment en supprimant le réfrigérant 3A et en fonctionnant comme dans EP-A-117 793, c'est-à-dire avec un passage direct de l'étage de compression 1A à l'entrée dans le distillateur 12.

Cette fraction vapeur haute pression refroidie dans le dispositif réfrigérant 3C sensiblement jusqu'à la température dite "ambiante" (à l'écart de température fixé dans la définition de la page 2 près), est ensuite à nouveau refroidie du bout chaud 6a jusque vers le bout froid 6b (donc d'environ 30°C à -30°C) dans les passages haute pression 59 de l'échangeur 6, avec entrée et sortie respectivement en 61 et 63, puis séparée en fractions liquide et vapeur, en 8.

A noter que le contrôle de la température et de la pression (+5°C à +10°C, 12 à 20 bar) du liquide de refroidissement de la tête de la colonne 12 permet d'obtenir un gaz monophasique à la fois en sortie de 3C et en 40, juste en sortie de l'échangeur 7.

La réfrigération de cet échangeur froid 7 est obtenue au moyen du fluide haute pression, de la manière suivante :

Le liquide recueilli à la base du séparateur 8 est sous-refroidi dans la partie chaude de l'échangeur 7, dans des passages 65, sorti de l'échangeur en partie intermédiaire (en 67) aux environs de -120°C, détendu à la basse pression du cycle, par exemple dans une vanne de détente 69, et réintroduit latéralement en 70, toujours en partie intermédiaire de l'échangeur, dans les passages retour basse pression 41 de celui-ci.

La fraction vapeur issue du séparateur 8 est, quant à elle, refroidie, condensée et sous-refroidie (jusqu'aux environs de -160°C) du bout chaud au bout froid de l'échangeur 7 et le liquide ainsi obtenu est détendu à la basse pression du cycle dans une vanne de détente 71 et réintroduit dans l'échangeur 7, parallèlement à l'axe 5a, à travers le dôme inférieur "froid" 7b, pour être vaporisé dans la partie froide des passages basse pression 41, puis réuni aux fluides diphasiques (essentiellement liquides) détendus admis par l'entrée intermédiaire 70, pour un retour vers la conduite 46.

Le gaz naturel traité, arrivant par exemple à une température de l'ordre de 20°C après dessiccation, via une conduite 73 est, pour partie, admis directement dans l'appareil 75 d'élimination d'hydrocarbures en C2+ et, pour sa partie restante, admis latéralement en 77, sensiblement à mi-longueur de l'échangeur 6, pour être refroidi jusque vers l'extrémité froide 6b dans des passages 79, avant de ressortir latéralement vers cette extrémité, en 81, cette portion refroidie (environ -20°C à -40°C) étant ensuite admise dans l'unité 75.

Dans l'unité 75, on extrait du gaz naturel qui y est admis :

- les produits qui risqueraient de cristalliser lors de la liquéfaction (c'est-à-dire essentiellement les C6+),
- les produits en C2 à C5 nécessaires au maintien de la composition au gaz de cycle,
- et éventuellement les quantités de produits à extraire pour que le gaz naturel liquéfié soit conforme aux spécifications requises par les utilisateurs,
- et on produit la majeure partie du "fuel gaz" nécessaire à la production d'énergie mécanique de l'installation, directement à la pression requise.

Le mélange restant sortant en 83 est ensuite admis en 85, à proximité du dôme "chaud" 7b de l'échangeur "froid" 7, pour circuler jusqu'à proximité de son extrémité froide 7b, dans des passages 87 en étant liquéfié et sous-refroidi pour ressortir en 89, aux environs de -160°C, avant d'être stocké, sous forme de liquide (GNL), en 10, après avoir été détendu.

A noter que de préférence l'essentiel (environ 90 %) du flux de gaz naturel (GN) décarbonaté et sec admis par la conduite 73 circulera dans les passages 79, seul au plus environ 10 % étant donc admis directement dans l'installation de séparation 75.

Avec une telle disposition et grâce en particulier au délestage obtenu de l'échangeur 6 par rapport à ce qui est décrit dans WO-A-94 24500, il est prévu un gain d'environ 10 % d'énergie globale, ainsi qu'une décharge de l'échangeur 6 d'environ la moitié de son travail thermique, 40 à 50 % de gaz naturel pouvant être traité en plus dans un tel échangeur de taille définie.

Comme cela a été représenté sur les figures 1, 2 et 4, il peut être souhaitable de détendre une partie des liquides froids dans des turbines à liquide ou "expansors" 91 prévus en parallèle des vannes de détente 69 et/ou 71.

A noter qu'en pratique, on montera n échangeurs 6 et 7, en parallèle, ainsi que n' échangeurs 18 également en parallèle.

A noter par ailleurs que les expandeurs prévus sur les chemins de circulation des liquides pourront en particulier être utilisés pour entraîner des pompes (non représentées), celui qui fournit le plus de puissance étant celui disposé en parallèle de la vanne 69, les vannes ne servant de préférence qu'au réglage fin ou à la détente (expansion) du liquide considéré, en cas de défaillance du (turbo-) expandeur correspondant.

Sur la figure 2, les éléments communs avec la figure 1 ont été repérés de la même manière (de même pour les autres figures).

La différence principale entre les figures 1 et 2 consiste en l'agencement du circuit fermé 21' du liquide réfrigérant, en circulation dans la deuxième unité d'échange thermique 18.

En effet, sur cette figure 2, il s'agit d'un cycle à un étage de compression 1E' comprenant donc un seul

compresseur haute pression (de l'ordre de 6,5 à 7,5 bars).

Dans le circuit 21', circulera de préférence un mélange ternaire, par exemple composé d'éthane, de butane et de propane.

En sortie du compresseur 1E', le mélange sous sa forme vapeur est (totalement) condensé dans le condenseur 23' pour être admis en 24' vers l'extrémité chaude 28b de l'échangeur 18 dans lequel il circule longitudinalement (parallèlement à l'axe 18a) jusque vers l'extrémité froide 28a, à proximité de laquelle il ressort latéralement en 26' aux environs de 8°C à 10°C pour être détendu par la vanne 27 jusque vers 2,5 à 3,5 bar.

Le mélange réfrigérant ainsi refroidi et détendu est alors réinjecté à travers le dôme froid 28a, parallèlement à l'axe 18a, à contre-courant des autres passages de circulation, dans les passages de vaporisation 33' pour ressortir coaxialement à travers le dôme "chaud" 28b et être introduit toujours sous forme vapeur aux environs de 30°C à 40°C en entrée du compresseur 1E'.

A noter que l'utilisation d'un mélange ternaire permet d'obtenir un gradient de température plus important que le mélange binaire utilisé dans le circuit 21 des figures 1, 4, 5 et 7.

Le circuit 21', que l'on retrouve d'ailleurs sur la figure 6, est plus simple que le circuit 21 mais présente un handicap énergétique d'environ 15 à 20 % par rapport à ce circuit, soit environ 1,5 à 2 % sur le cycle complet de l'installation.

Sur la figure 3, le mélange frigorigène de cycle de l'installation, dans sa fraction liquide issue du liquide de cuve de l'appareil de distillation 12, après refroidissement sensiblement entre les extrémités chaude 28b et froide 28a de l'échangeur 18 dans les passages correspondant 93, puis sous-refroidissement dans une partie froide de l'échangeur "chaud" 6 dans les passages 95 de cet échangeur, subit une expansion dans une vanne d'expansion 97, avant d'être envoyé dans le séparateur 9.

Les fractions gazeuse (via 99a) et liquide (via 99b) sont ensuite injectées séparément dans les passages retour du cycle, en vaporisation à basse pression.

Plus précisément, la fraction vapeur est injectée latéralement à l'endroit de la coupure 40, tandis que la fraction liquide est injectée légèrement plus en aval, à proximité du bout froid 6b de l'échangeur 6, via le chemin d'injection latéral 101 débouchant sur 42.

Un traitement comparable de la fraction liquide issue du séparateur de cycle 8 et détendue dans la vanne d'expansion 69 après avoir circulé dans les passages 65, pour être sous-refroidie, est effectué dans le troisième séparateur de cycle 103.

Ainsi, les fractions respectivement gazeuse et liquide issues de ce séparateur sont injectées séparément par des injections distinctes, respectivement 105 et 107, sensiblement à un même niveau intermédiaire des passages froids de vaporisation 41 de l'échangeur 7, c'est-à-dire donc plus en amont des passages retour du mé-

lange frigorigène vaporisé à basse pression que les arrivées d'injection des fractions vapeur et liquide arrivant de 99a et 99b.

Toujours sur la figure 3, on notera que le gaz naturel (GN), après décarbonatation et dessiccation, est admis pour sa partie principale (environ 90%) en 77', en partie intermédiaire de l'échangeur 6, après avoir circulé dans les conduits 20 en échange de chaleur dans l'échangeur 18 pour y être refroidi par échange thermique indirect avec le liquide réfrigérant en circulation dans le circuit 21" que l'on va présenter ci-après.

Après avoir circulé dans les passages 79' jusque vers l'extrémité froide 6b de l'échangeur 6, ce gaz naturel ainsi sous-refroidi sort en 81' de l'échangeur 6 pour passer dans l'échangeur 7, via une injection 109, avant de ressortir par une sortie intermédiaire 111, après avoir été sous-refroidi dans les passages 113, jusqu'à une température d'environ -40°C à -60°C, le gaz ainsi sous-refroidi passant dans l'installation de séparation 75, sa fraction qui sort en 83 étant ensuite réinjectée latéralement en 115 en partie intermédiaire de l'échangeur 7 pour circuler dans les passages froids 117 jusqu'aux environs de -160°C et être ainsi liquéfiée, avant de ressortir en 89', sensiblement à l'endroit de la sortie 89 des figures précédentes, puis passer dans la vanne d'expansion 119 (qui pourrait également être un expendeur) et être enfin stockée dans l'unité de stockage 10, après détente.

A noter qu'en sortie 81', une partie du gaz peut être délivrée dans l'unité de séparation 75, via la conduite 82, sans passer là à travers l'échangeur 7.

Si l'on s'intéresse maintenant au circuit 21" du fluide réfrigérant utilisé dans l'échangeur 18, on note qu'en plus du circuit 21 de la figure 1 (dont il reprend les caractéristiques) le circuit 21" comprend un circuit additionnel 121, branché en parallèle, en entrée, entre la sortie 25 et la vanne d'expansion 32 et, en sortie, entre le condenseur 22 (ou la sortie du condenseur basse pression 1D) et le raccordement de mélange 35.

Le circuit 121 ainsi branché comprend un échangeur supplémentaire 123 dans lequel circule entre son extrémité froide 123a et son extrémité plus chaude 123b, le mélange réfrigérant binaire liquéfié sortant de 25 et détendu en 125 dans une vanne d'expansion, avant d'être vaporisé dans les passages 127, entre les extrémités froide et chaude de l'échangeur 123, à contre-courant d'un flux de gaz naturel relativement humide (avant dessiccation), admis en 129 et circulant donc à contresens du fluide vaporisé dans 127, à l'intérieur des passages 131, avant d'être introduit dans une unité de dessiccation (non représentée), puis éventuellement d'être introduit à l'entrée "GN" 73 pour partir soit dans le conduit 20, soit directement vers l'installation de séparation 75.

L'installation de la figure 4 se différencie ainsi uniquement de celle de la figure 1 :

- du fait de la circulation de la fraction vapeur haute

pression sortant de 3C, avant que cette fraction vapeur parvienne à l'entrée latérale d'injection 61 de l'échangeur 6,

- et dans la manière dont le mélange frigorigène comprimé sortant du condenseur 3A est admis dans le distillateur 12, du fait qu'un refroidissement du mélange sortant de 3A est prévu en dessous de la température "ambiante" (et même éventuellement en dessous de la température du fluide de refroidissement disponible sur le site) avant entrée dans la colonne 12, ceci par circulation dans l'échangeur 18.

Sur la figure 4, on note ainsi qu'en sortie du réfrigérant 3C, la fraction vapeur haute pression est admise en 133 vers le bout "chaud" 28a de l'échangeur 18 pour être refroidie jusqu'à une zone intermédiaire de la longueur axiale de l'échangeur, avant d'en ressortir pour être admise dans l'échangeur 6, via l'entrée d'injection 61.

Les passages laissés libres à la suite de ceux 135 réservés pour ladite fraction vapeur haute pression dans l'échangeur 18, sont ici utilisés pour condenser la fraction vapeur issue de la tête 12a de la colonne de distillation 12 (passages de vaporisation repérés 135') avant que cette fraction vapeur condensée soit séparée en 13.

Une partition des longueurs des passages a également été utilisée pour refroidir, dans la partie la moins froide de l'échangeur 18 (passages 137), le mélange diphasique comprimé sortant du condenseur 3A, avant de l'admettre en entrée basse 12c de l'appareil de distillation 12 (aux environs de 10°C à 15°C en dessous de la température "ambiante"), la partie complémentaire des passages 137 (repérée 137') située dans la partie plus froide de l'échangeur 18 servant à refroidir le liquide de cuve récupéré en 12b, avant de l'admettre dans l'entrée d'injection latérale 48 de l'échangeur 6.

A noter que la circulation dans les passages 137 du mélange diphasique partiellement condensé et comprimé permet d'obtenir une température d'entrée dans la première partie 12 des moyens de séparation 4 qui peut donc être différente de (inférieure à) la "température ambiante", voire à la température du fluide de refroidissement disponible sur le site.

Et ce refroidissement de la température de cuve du distillateur 12 permet d'atteindre une température de coupure (en 40) plus basse que dans les autres cas.

A noter également que la circulation de la fraction vapeur haute pression dans les passages 135 permet d'obtenir en 61 une température d'entrée de cette fraction vapeur dans l'échangeur 6, de l'ordre de 25°C à 30°C que l'on peut adapter et qui peut en particulier être inférieure à la température d'entrée en 61 de l'installation de la figure 1, typiquement de l'ordre de 40°C, c'est-à-dire proche de la température dite "ambiante" (ou de la température du "fluide de refroidissement").

Même si cela n'a pas été illustré, le refroidissement intermédiaire, dans les passages 137 du mélange di-

phasique partiellement condensé et comprimé, entre le condenseur 3A et la première unité (12 ou 14) des moyens de séparation 4, pourrait être prévu sur l'installation à deux séparateurs associés 14, 15 de la figure 6.

Mais avant de revenir à cette solution de la figure 6, remarquons que sur la figure 5, le gaz de cycle haute pression passant dans 2C et éventuellement partiellement condensé en 3C est refroidi d'une dizaine de degrés (c'est-à-dire typiquement d'environ 40°C à environ 30°C) dans des passages 139 de l'échangeur 18 situés du côté du dôme "chaud" 28b de celui-ci, avant de ressortir latéralement en 141, puis d'être injecté comme précédemment en 61 dans l'échangeur 6.

L'intérêt d'un tel refroidissement que l'on peut contrôler en adaptant le fonctionnement de l'échangeur 18, est d'atteindre entre l'entrée 61 et la conduite de recyclage 46, un écart de température inférieur à environ 20°C, et donc d'obtenir une sortie du cycle de refroidissement aux environs de 20°C, assez proche du point de rosée du mélange frigorigène utilisé, ce refroidissement uniquement d'environ 10°C dans les passages 139 évitant de liquéfier la phase vapeur haute pression avant de l'injecter en 61.

Du point de vue énergétique, cette version de la figure 5 paraît potentiellement l'une des plus intéressantes.

Pour les autres caractéristiques, l'installation de la figure 5 correspond à celle de la figure 1 (la prévision d'un expandeur 91 en parallèle de la vanne de détente 69 étant facultative).

Sur la figure 6, la colonne de distillation 12 a donc été remplacée par un séparateur 14.

La fraction liquide récupérée aux environs de 8°C en partie basse du deuxième séparateur 15 est transmise vers l'entrée intermédiaire 48, et ce a priori directement, sans passer par l'échangeur 18.

En 143, cette fraction liquide issue du séparateur 15 rencontre le conduit 145 utilisé pour la fraction liquide récupérée du séparateur 14, après circulation sensiblement entre les extrémités "chaude" 28b et "froide" 28a de l'échangeur 18, dans les passages de refroidissement indirect 147.

Des vannes de réglage, respectivement 149 et 151, permettent d'adapter le débit des fractions liquides issues des séparateurs 14 et 15, respectivement.

La circulation de la fraction liquide du séparateur 14 dans les passages 147 permet de faire passer sa température d'environ 40°C aux environs de 8°C, température à laquelle la fraction liquide du séparateur 15 est récupérée, du fait de sa circulation dans les passages 153 de l'échangeur 18, sensiblement dans les mêmes conditions d'échange thermique indirect que la fraction liquide circulant dans les passages 147.

Compte-tenu de cela, et comme cela a déjà été indiqué, la fraction vapeur ayant circulé dans les passages 153 à contre-courant (comme pour 147 notamment) des passages 133' du circuit de refroidissement 21', est condensée, de manière à être introduite sous cette for-



me dans le séparateur 15, la fraction vapeur récupérée en 15a étant quant à elle admise à l'entrée du compresseur haute pression 1C.

Compte-tenu de ce qui précède, on aura compris que l'entrée "liquide" de l'échangeur 6, en 48, s'effectue aux environs de 8°C sur l'installation de la figure 6.

L'installation de la figure 7 se différencie de celle de la figure 1 uniquement (si l'on excepte la prévision de l'expandeur 91 en parallèle de la vanne de détente 69) du fait de la prévision non pas de deux mais de trois étages de compression sur l'unité de compression de cycle 1'.

Ainsi sur cette figure 7, entre l'entrée 12c de l'appareil de distillation 12 et la sortie du condenseur 3A, ont été interposés un séparateur 155, une pompe 157, un étage intermédiaire de compression 1B refoulant en 2B dans un condenseur 3B dont la sortie communique avec l'entrée 12c de l'appareil de distillation 12.

Comme cela a déjà été décrit dans WO-A-94 24500, cet étage intermédiaire de compression et ses accessoires permet de séparer en 155 en une fraction vapeur et une fraction liquide le mélange frigorigène comprimé en 1A et condensé partiellement en 3A, avec refroidissement jusqu'à une température de +30°C à +40°C.

La phase vapeur issue du séparateur 155 est comprimée à une deuxième pression intermédiaire  $P_i$  typiquement de l'ordre de 12 à 20 bar, en 1B, tandis que la fraction liquide récupérée du même séparateur 155 est portée par la pompe 157 à la même pression  $P_i$  et injectée dans la conduite 2B (ou éventuellement en sortie du condenseur partiel 3B).

Le mélange des deux phases dans cette conduite est ensuite refroidi et partiellement condensé en 3B, puis distillé en 12.

A noter qu'une telle unité de compression 1' à trois étages de compression pourrait être employée dans les autres versions de l'installation de l'invention.

D'ailleurs, et d'une façon plus générale, les particularités de telle figure peuvent être appliquées en l'espèce à telle autre, indifféremment.

Concernant l'utilisation des séparateurs 9 et 103, celle-ci pourrait également être appliquée dans n'importe quel autre cas de figure.

De la même manière, la circulation du gaz naturel dans les passages 79' puis 113 peut être prévue sur les autres figures que la figure 3, dans la mesure où la température d'envoi vers l'unité 75 est différente de la température de coupure en 40.

## Revendications

1. Procédé pour refroidir un fluide, notamment pour la liquéfaction de gaz naturel, dans lequel :

a) on comprime un mélange frigorigène dans un avant-dernier étage (1A, 1B) parmi plusieurs

étages d'une unité de compression (1, 1'),

b) on condense partiellement le mélange, par refroidissement, pour obtenir un mélange condensé,

c) on sépare le mélange condensé pour obtenir une fraction vapeur et une fraction liquide,

d) on refroidit et on condense partiellement ladite fraction vapeur,

e) on envoie la fraction vapeur résultante vers le dernier étage de compression (1C), pour obtenir une fraction vapeur haute pression,

f) on refroidit, on expand et on fait circuler dans au moins des premiers moyens (5) d'échange thermique, avec le fluide à refroidir, au moins certaines parmi lesdites fraction vapeur haute pression et fraction liquide,

caractérisé en ce que, lors de l'étape d), on refroidit ladite fraction vapeur issue de la séparation dudit mélange condensé, en la faisant circuler en échange de chaleur avec un fluide réfrigérant, dans des seconds moyens d'échange thermique (18).

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, lors des étapes c), d) et e) :

- on sépare le mélange condensé dans un premier séparateur (14),
- on condense la fraction vapeur issue dudit premier séparateur dans les seconds moyens d'échange thermique, pour obtenir une fraction de vapeur condensée,
- on fait passer dans un second séparateur (15) ladite fraction vapeur condensée, pour obtenir une fraction vapeur et une fraction liquide,
- on envoie la fraction vapeur issue du second séparateur dans ledit dernier étage de compression (1C),
- et on envoie la fraction liquide issue du second séparateur vers lesdits premiers moyens d'échange thermique (5).

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que :

- on fait passer la fraction liquide issue du premier séparateur (14) dans les seconds moyens d'échange thermique (18),
- et, avant d'admettre la fraction liquide issue du second séparateur (15) dans les premiers moyens d'échange thermique (5), on réunit cette fraction liquide avec la fraction liquide ayant traversé lesdits seconds moyens d'échange thermique (18).

4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, lors des étapes c), d) et e) :

- on sépare le mélange condensé dans un appareil de distillation (12),
  - on condense la fraction vapeur issue de cet appareil de distillation dans lesdits seconds moyens d'échange thermique (18), pour obtenir une fraction vapeur condensée, 5
  - on fait passer dans un séparateur (13) la fraction vapeur condensée, pour obtenir une fraction vapeur et une fraction liquide, 10
  - on envoie la fraction vapeur issue du séparateur (13) dans le dernier étage de compression (1C), 15
  - et on renvoie la fraction liquide issue dudit séparateur dans la tête (12a) de colonne de l'appareil de distillation, pour la refroidir.
- 5.** Procédé selon l'une des revendications 2 à 4, caractérisé en ce que, lors de l'étape f), on fait circuler dans lesdits seconds moyens d'échange thermique (18) la fraction liquide issue de l'appareil de distillation (12) ou dudit premier séparateur (14) avant de l'admettre dans les premiers moyens d'échange thermique (5). 20
- 6.** Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que : 25
- on fait circuler la fraction liquide issue de l'appareil de distillation (12) ou du premier séparateur (14) dans les seconds moyens d'échange thermique (18), sensiblement entre une extrémité chaude (28b) et une extrémité froide (28a) de ces moyens d'échange thermique, 30
  - et on admet la fraction liquide ainsi refroidie, en partie intermédiaire d'un premier échangeur chaud (6) parmi deux échangeurs de chaleur disposés en série, l'un chaud, l'autre froid (7), appartenant auxdits premiers moyens d'échange thermique (5). 35
- 7.** Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on fait circuler le fluide réfrigérant dans un cycle de réfrigération en circuit fermé (21) à deux étages successifs de compression et, en sortie de l'étage de compression le plus élevé des deux (1E), on condense totalement le fluide réfrigérant. 40
- 8.** Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'on fait circuler le fluide réfrigérant dans un cycle (21') de réfrigération en circuit fermé à un étage unique de compression et, en sortie de cet étage de compression (1E'), on condense totalement le fluide réfrigérant. 45
- 9.** Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que, lors de l'étape f) :
- on refroidit la fraction vapeur haute pression après le dernier étage de compression (1C) de ladite unité de compression (1, 1'),
  - et on fait circuler cette fraction vapeur refroidie dans les seconds moyens d'échange thermique (18), pour la refroidir encore par échange de chaleur avec le fluide réfrigérant avant de l'envoyer dans les premiers moyens d'échange thermique (5).
- 10.** Procédé selon les revendications 4 et 9, caractérisé en ce que :
- pour refroidir encore la fraction vapeur haute pression refroidie, on la fait circuler entre une extrémité chaude (28b) desdits seconds moyens d'échange thermique (18) et une partie intermédiaire de ceux-ci,
  - et on fait circuler entre sensiblement cette partie intermédiaire et une extrémité froide (28a) desdits seconds moyens d'échange thermique (18), ladite fraction vapeur issue de l'appareil de distillation (12), avant de l'envoyer dans ledit séparateur (15).
- 11.** Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 à 9, caractérisé en ce que l'on fait circuler essentiellement entre une extrémité chaude et une extrémité froide des seconds moyens d'échange thermique (18), les fractions vapeur et liquide issues de l'appareil de distillation (12), avant de les admettre respectivement dans ledit séparateur (15) et dans lesdits premiers moyens d'échange thermique (5).
- 12.** Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'entre les étapes b) et c) de la revendication 1, on fait circuler le mélange condensé dans les seconds moyens d'échange thermique (18). 40
- 13.** Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'on fait circuler un fluide caloporteur dans les seconds moyens d'échange thermique (18).
- 14.** Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que :
- le fluide à refroidir est du gaz naturel,
  - avant de faire circuler ce gaz naturel dans les premiers moyens d'échange thermique (5), on lui fait subir une dessiccation,
  - et, après dessiccation, le gaz naturel sec passe, à l'intérieur des premiers moyens d'échange thermique (5), d'abord dans une première partie d'un premier échangeur chaud (6) parmi deux échangeurs disposés en série, l'un chaud, l'autre froid (7), appartenant auxdits

premiers moyens d'échange thermique, puis dans une partie dudit second échangeur de ces premiers moyens d'échange thermique, avant de passer dans une unité de fractionnement (75) extérieure auxdits premiers moyens d'échange thermique.

**15.** Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que :

- le fluide à refroidir est du gaz naturel,
- avant d'admettre ce gaz naturel dans ladite première unité d'échange thermique (5), on le fait passer successivement :

- \* dans des troisièmes moyens d'échange thermique (123), pour le refroidir par échange de chaleur avec le fluide réfrigérant,

- \* puis dans une unité intermédiaire de dessiccation.

**16.** Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que l'on fait circuler le gaz naturel sortant de l'unité intermédiaire de dessiccation dans les seconds moyens d'échange thermique (18), avant de l'admettre dans les premiers moyens d'échange thermique (5).

**17.** Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que :

- le fluide à refroidir est du gaz naturel,
- avant d'admettre ce gaz naturel dans les premiers moyens d'échange thermique (5), on le fait circuler d'abord dans les seconds moyens d'échange thermique (18) et, avant ou après cette circulation dans les seconds moyens d'échange thermique, on fait subir au gaz naturel une dessiccation.

**18.** Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que :

- le fluide à refroidir est du gaz naturel,
- on fait subir une dessiccation au gaz naturel avant de l'admettre, pour le refroidir, dans un premier échangeur chaud (6) parmi deux échangeurs disposés en série, l'un chaud, l'autre froid (7), appartenant auxdits premiers moyens d'échange thermique (5),
- on en refroidit au moins une partie dans une première partie du second échangeur froid (7),
- on le fait ensuite passer dans une unité de fractionnement (75) pour obtenir un composé résultant,
- et on fait circuler ledit composé résultant dans une deuxième partie du second échangeur

froid (7), pour le liquéfier et le sous-refroidir.

**19.** Procédé pour refroidir un fluide, notamment pour la liquéfaction de gaz naturel, dans lequel

- a) on comprime un mélange frigorigène dans un avant-dernier étage (1A, 1B) parmi plusieurs étages d'une unité de compression (1, 1'), pour obtenir un mélange comprimé,
- b) on sépare le mélange comprimé pour obtenir une fraction vapeur et une fraction liquide,
- c) on refroidit et on condense partiellement ladite fraction vapeur,
- d) on envoie la fraction vapeur résultante vers le dernier étage de compression (1C), pour obtenir une fraction vapeur haute pression,
- e) on refroidit, on expand et on fait circuler dans au moins des premiers moyens (5) d'échange thermique, avec le fluide à refroidir, au moins certaines parmi lesdites fraction vapeur haute pression et fraction liquide, ladite fraction liquide de l'étape b) circulant préalablement dans des seconds moyens d'échange thermique (18), en échange de chaleur avec un fluide réfrigérant, caractérisé en ce que, lors de l'étape c), on refroidit ladite fraction vapeur issue de la séparation dudit mélange comprimé de l'étape b), en la faisant circuler en échange de chaleur avec ledit fluide réfrigérant, dans les seconds moyens d'échange thermique (18).

**20.** Installation de refroidissement pour refroidir un fluide, l'installation comprenant :

- une unité de compression (1, 1') comprenant plusieurs étages de compression disposés en série, incluant un dernier étage de compression (1C) et un avant-dernier étage de compression (1A, 1B), pour comprimer au moins une partie d'un mélange frigorigène,
- des moyens de séparation (12, 13 ; 14, 15) disposés entre l'avant-dernier étage et le dernier étage de compression, pour obtenir une séparation du mélange frigorigène issu de l'avant dernier étage de compression, en une fraction vapeur et une fraction liquide, les moyens de séparation comprenant une sortie pour ladite fraction vapeur communiquant avec une entrée du dernier étage de compression et une sortie pour ladite fraction liquide,
- des moyens de refroidissement et de condensation (18), pour refroidir et condenser partiellement ladite fraction vapeur avant son entrée dans le dernier étage de compression (1C),
- et des premiers moyens d'échange thermique (5) ayant une sortie en communication avec une entrée de l'unité de compression et des en-

trées respectivement en communication avec une admission pour le fluide à refroidir, avec la sortie de fraction liquide desdits moyens de séparation et avec une sortie du dernier étage de compression,

caractérisée en ce que lesdits moyens de refroidissement et de condensation comprennent des seconds moyens d'échange thermique (18) pour placer ladite fraction vapeur, avant son entrée dans le dernier étage de compression (1C), en échange de chaleur avec un fluide réfrigérant circulant dans lesdits seconds moyens d'échange thermique (18).

**21.** Installation selon la revendication 20, caractérisée en ce que :

- lesdits moyens de séparation sont des premiers moyens de séparation (12, 14),
- et l'installation comprend en outre des seconds moyens de séparation (13, 15) interposés entre les seconds moyens d'échange thermique (18) et l'entrée du dernier étage de compression (1C), sur la communication entre la sortie de la fraction vapeur desdits premiers moyens de séparation (12, 14) et le dernier étage de compression (1C).

**22.** Installation selon la revendication 21, caractérisée en ce que les premiers moyens de séparation comprennent un séparateur (14).

**23.** Installation selon la revendication 21 caractérisée en ce que les premiers moyens de séparation comprennent un appareil de distillation (12).

**24.** Appareil selon l'une des revendications 21 à 23, caractérisé en ce que les seconds moyens de séparation comprennent un séparateur (13, 15).

**25.** Installation selon l'une quelconque des revendications 20 à 24, caractérisée en ce que les seconds moyens de séparation (13, 15) comprennent une sortie pour une fraction liquide communiquant avec ladite entrée de fraction liquide (48) des premiers moyens d'échange thermique (5).

**26.** Installation selon l'une quelconque des revendications 20 à 25, caractérisée en ce que :

- les premiers moyens de séparation comprennent une entrée communiquant avec une sortie d'un condenseur (3A),
- et cette communication entre la sortie du condenseur et l'entrée des premiers moyens de séparation (12, 14) passe dans la seconde unité d'échange thermique (18).

**27.** Installation selon l'une quelconque des revendications 20 à 26 caractérisée en ce que ledit fluide réfrigérant circule dans un cycle de réfrigération (21") comprenant :

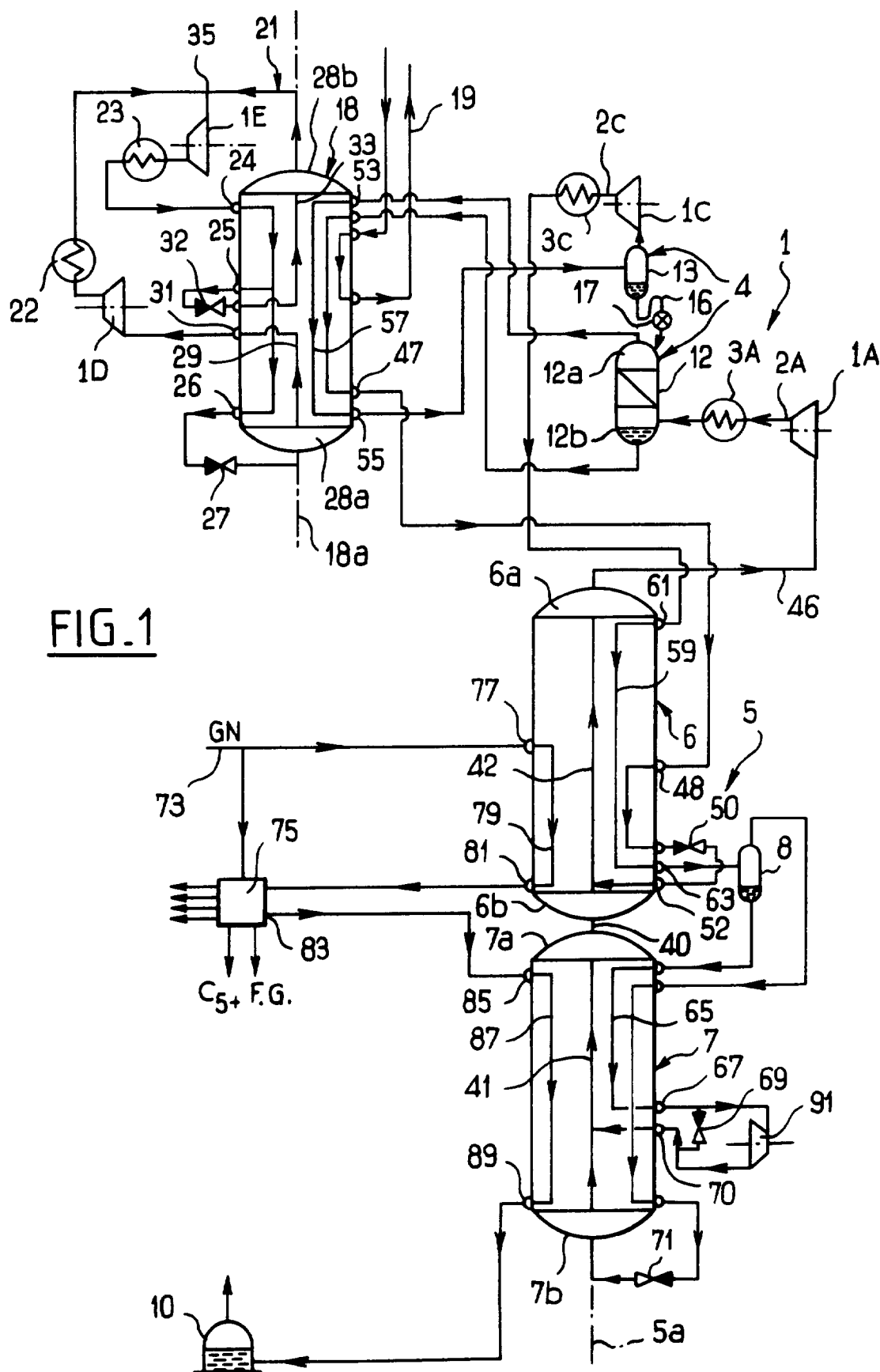
- lesdits seconds moyens d'échange thermique (18),
- et des troisièmes moyens d'échange thermique (123) où passe, en échange thermique, le fluide réfrigérant et ledit fluide à refroidir.

**28.** Installation selon l'une quelconque des revendications 20 à 27, caractérisée en ce que la communication entre la sortie du dernier étage de compression (1C) et l'entrée de fraction vapeur des premiers moyens d'échange thermique (5) passe dans les seconds moyens d'échange thermique (18).

**29.** Installation selon l'une quelconque des revendications 20 à 28, caractérisée en ce qu'elle comprend un circuit de fluide frigorigène (19) passant dans les seconds moyens d'échange thermique (18).

**30.** Installation selon l'une quelconque des revendications 20 à 29, caractérisée en ce que la communication entre ladite sortie de fraction liquide des moyens de séparation et l'entrée correspondante dans les premiers moyens d'échange thermique (5) passe à travers les seconds moyens d'échange thermique (18).

**31.** Installation selon l'une quelconque des revendications 20 à 30, caractérisée en ce qu'elle comprend en outre des moyens (3A ; 3B) d'échange thermique avec un fluide de refroidissement disposés entre la sortie dudit avant-dernier étage de compression et l'entrée des moyens de séparation (12, 14), de façon à refroidir ledit mélange frigorigène sortant de l'avant dernier étage de compression avant de l'introduire dans les moyens de séparation.



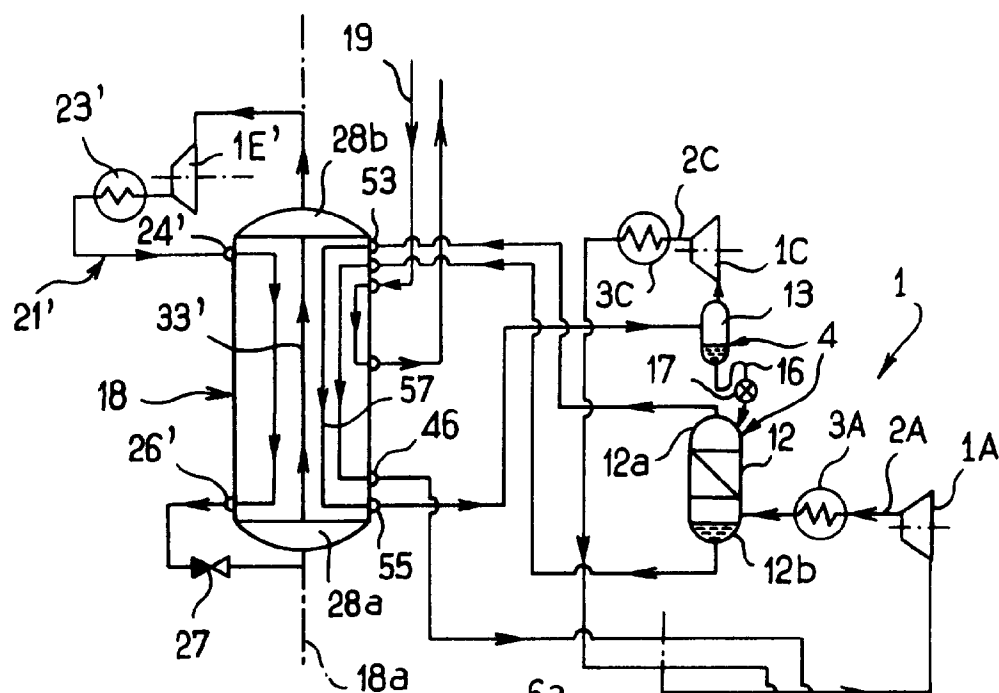
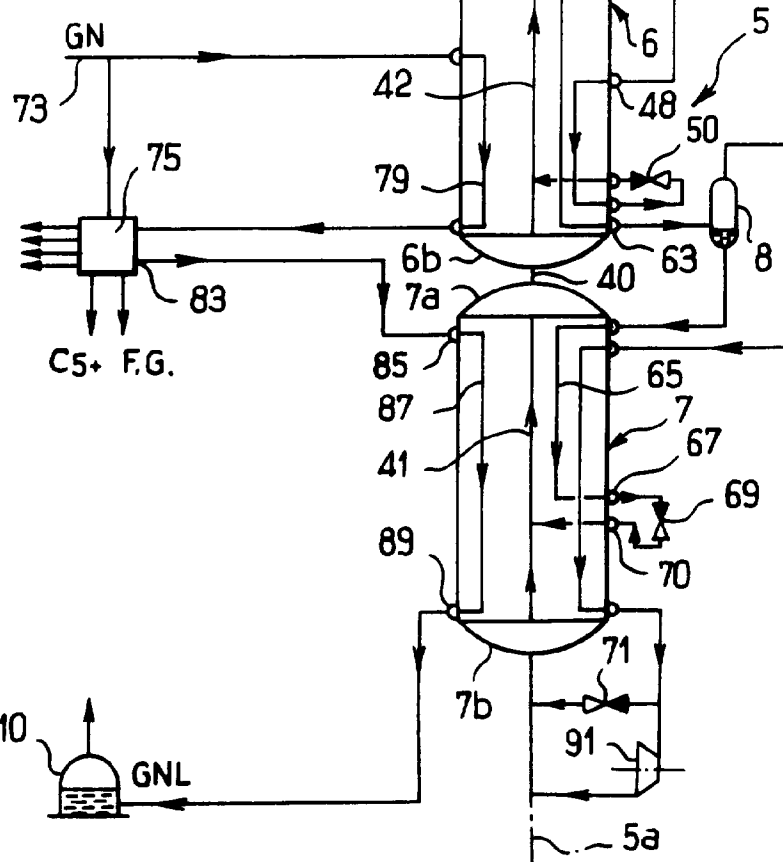
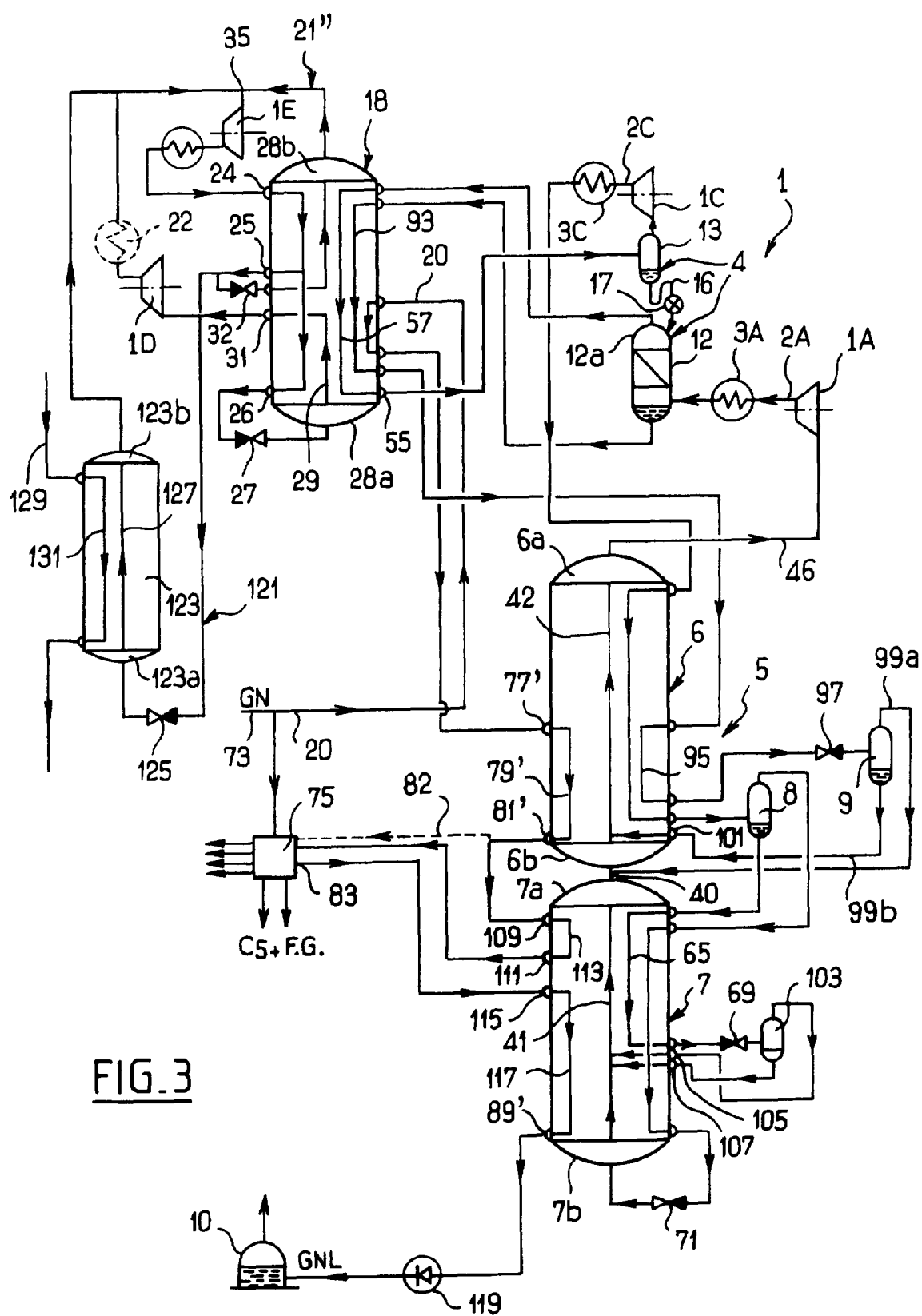
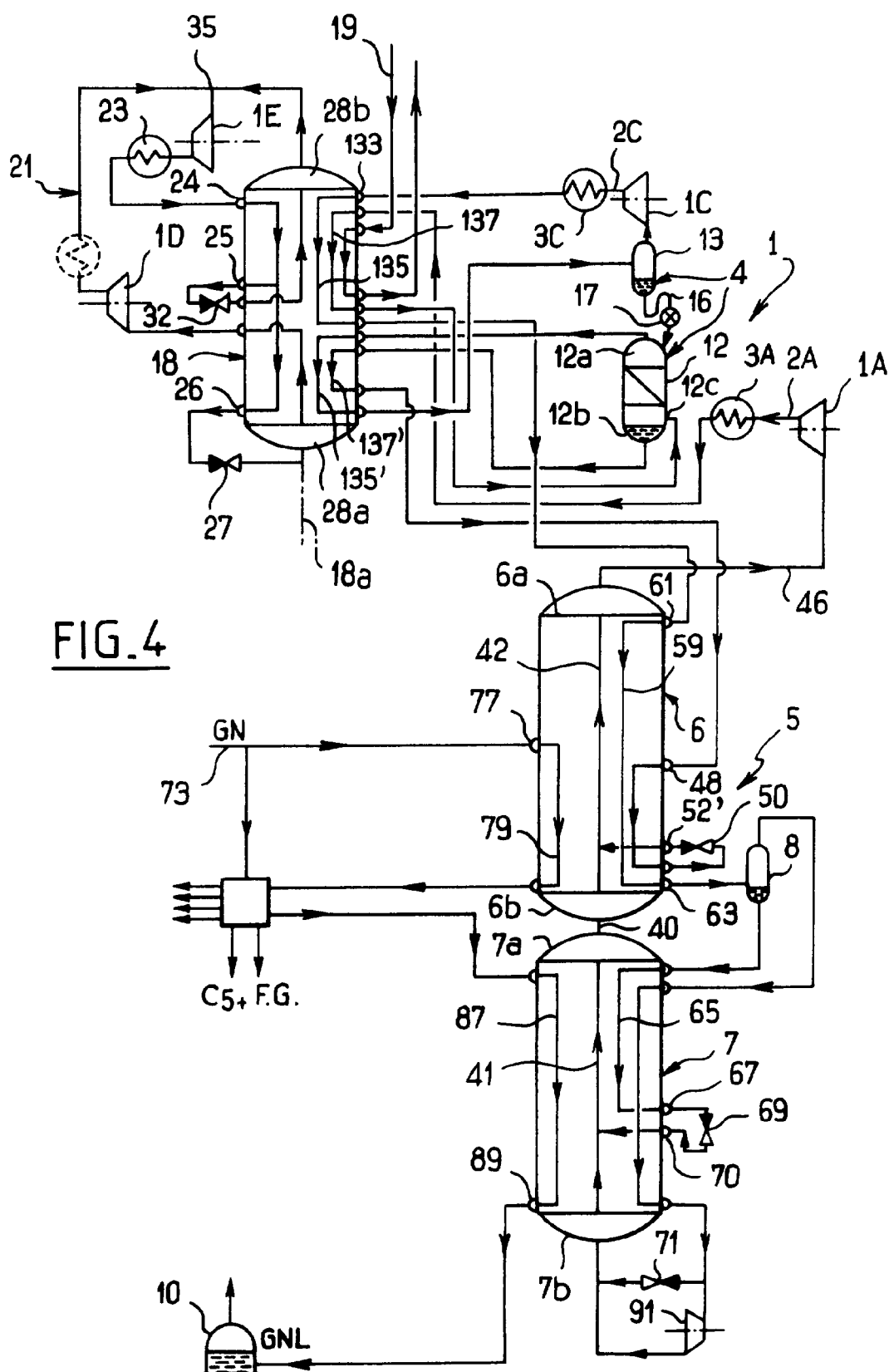


FIG. 2









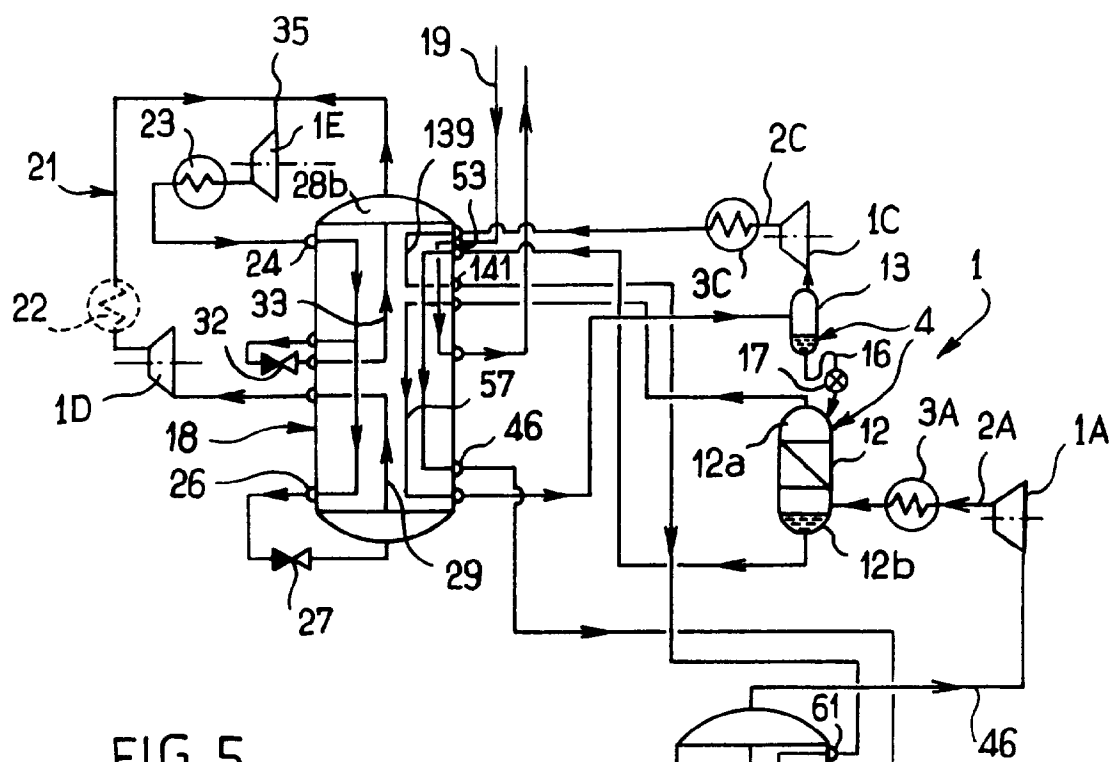
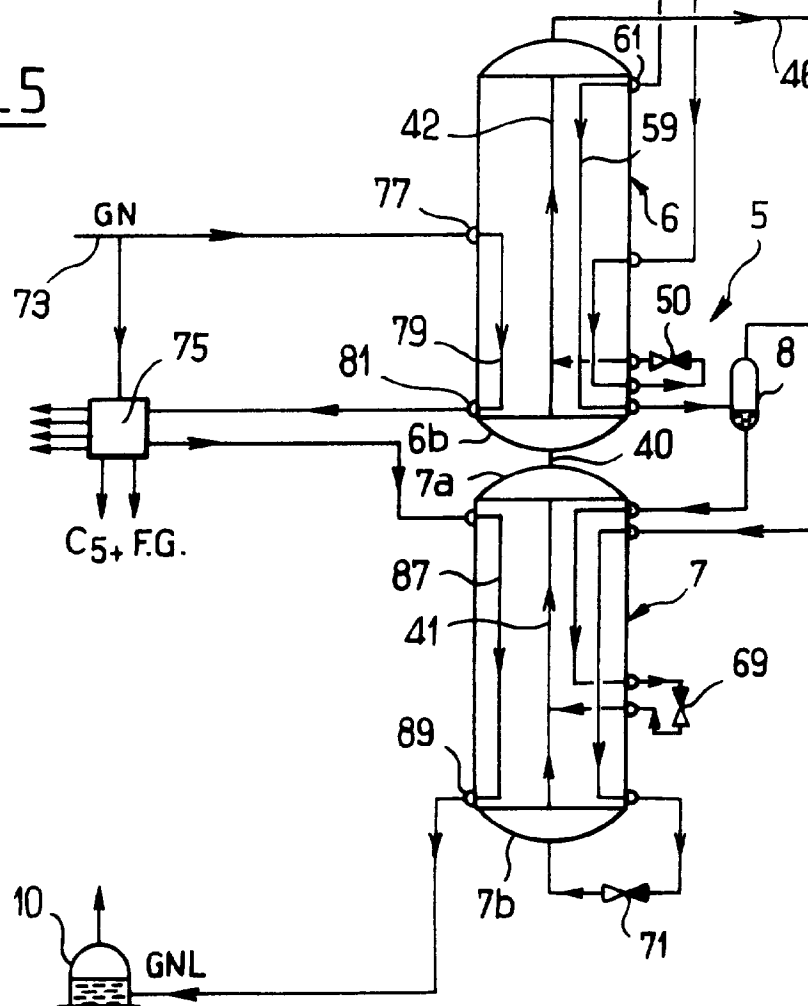
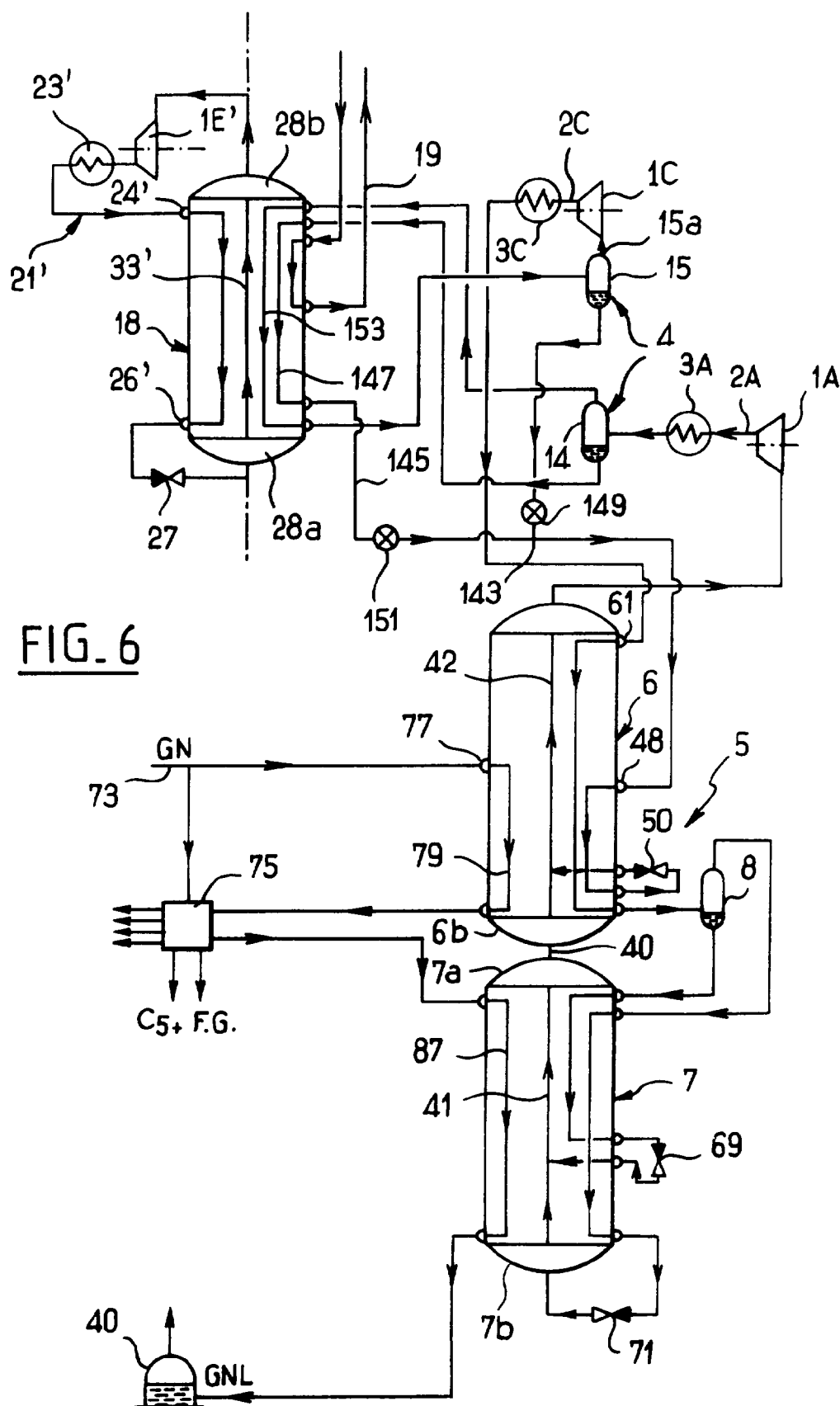


FIG. 5





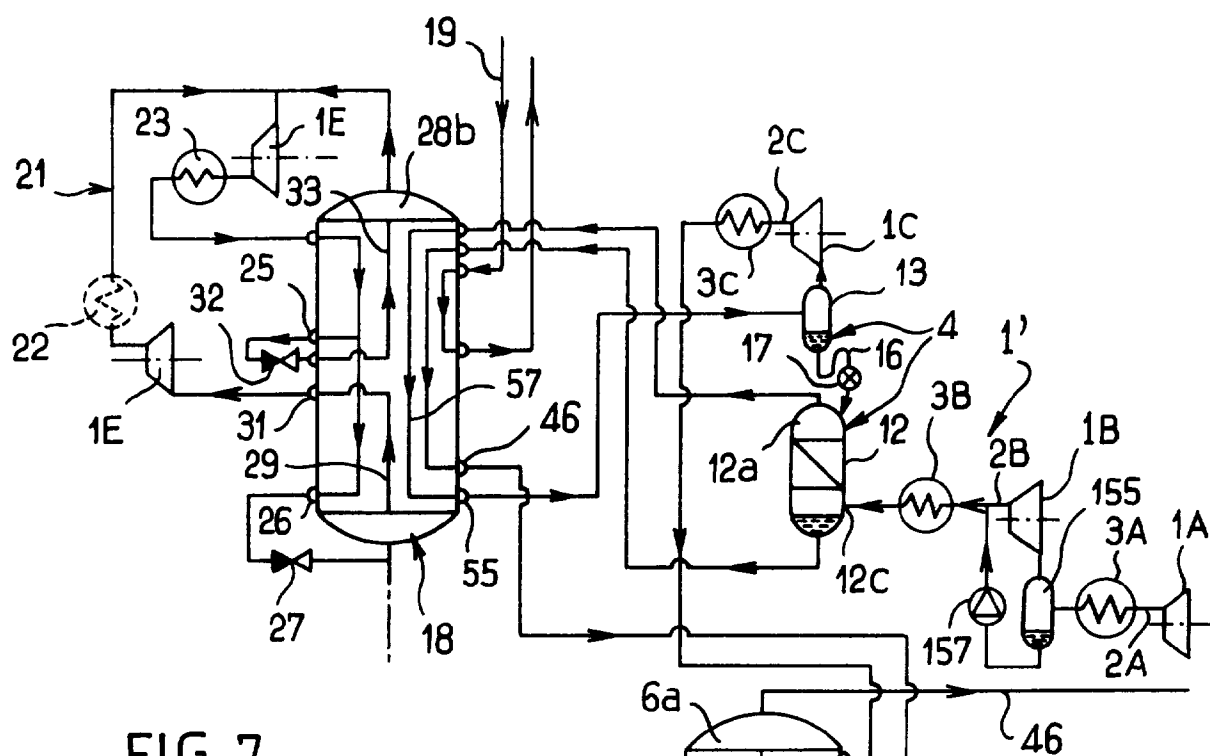
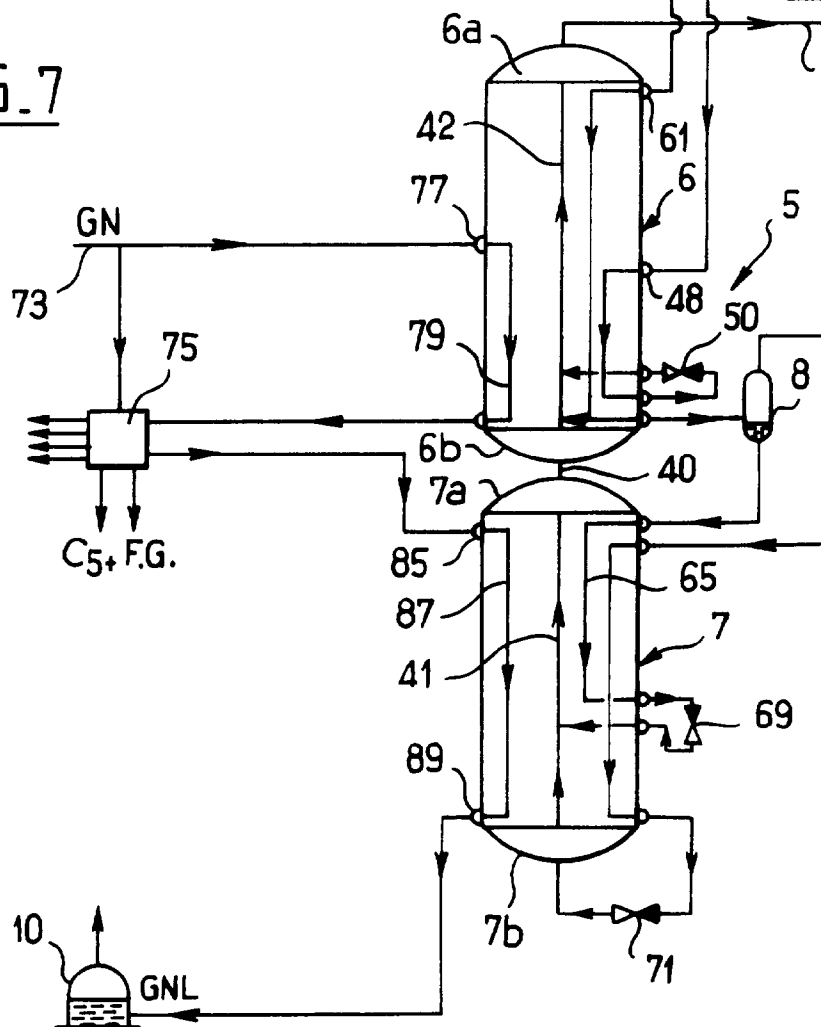


FIG. 7





Office européen  
des brevets

# RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande  
EP 97 40 1367

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.6)
D,A	WO 94 24500 A (GAZ DE FRANCE .) 27 octobre 1994 * le document en entier * -----	1-3,15, 18,20-25	F25J3/06 F25J1/02
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6)
			F25J
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 20 octobre 1997	Examineur De Herdt, O
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)