



(22) Date de dépôt/Filing Date: 1996/12/27

(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 1997/06/29

(45) Date de délivrance/Issue Date: 2006/06/06

(30) Priorité/Priority: 1995/12/28 (FR95 15 623)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *F25J 1/02* (2006.01)

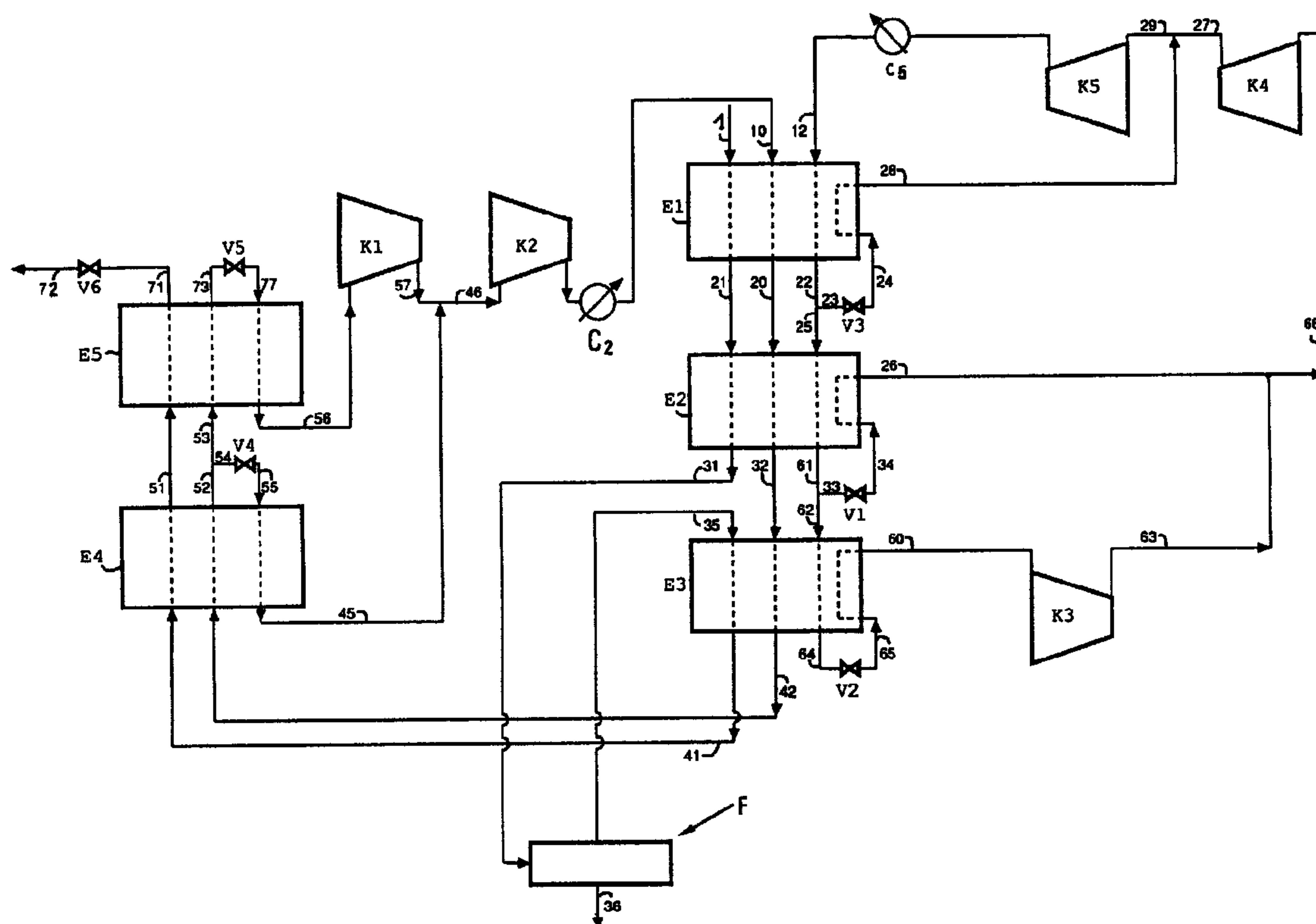
(72) Inventeurs/Inventors:
CAPRON, PIERRE, FR;
ROJEY, ALEXANDRE, FR

(73) Propriétaire/Owner:
INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE, FR

(74) Agent: ROBIC

(54) Titre : PROCÉDE ET DISPOSITIF DE LIQUEFACTION EN DEUX ETAPES D'UN MELANGE GAZEUX, TEL QU'UN GAZ NATUREL

(54) Title: TWO-STAGE LIQUEFACTION PROCESS AND DEVICE FOR A GASEOUS MIXTURE, SUCH AS A NATURAL GAS



(57) Abrégé/Abstract:

Le procédé permet de liquéfier un mélange gazeux formé au moins en partie d'un mélange d'hydrocarbures, tel qu'un gaz naturel, en utilisant un mélange réfrigérant qui se présente à l'issue d'une première étape de réfrigération dans un état dit "monophasique condensé".



2194089

PRECIS DE LA DIVULGATION

PROCEDE ET DISPOSITIF DE LIQUEFACTION EN DEUX ETAPES D'UN MELANGE GAZEUX, TEL QU'UN GAZ NATUREL.

Le procédé permet de liquéfier un mélange gazeux formé au moins en partie d'un mélange d'hydrocarbures, tel qu'un gaz naturel, en utilisant un mélange réfrigérant qui se présente à l'issue d'une première étape de réfrigération dans un état dit "monophasique condensé".

PROCEDE ET DISPOSITIF DE LIQUEFACTION EN DEUX ETAPES D'UN MELANGE GAZEUX, TEL QU'UN GAZ NATUREL

La présente invention concerne un procédé et un dispositif permettant de liquéfier un fluide ou un mélange gazeux formé au moins en partie d'un mélange d'hydrocarbures, par exemple un gaz naturel.

Le gaz naturel est couramment produit en des sites éloignés des lieux d'utilisation et il est courant de le liquéfier afin de le transporter sur de longues distances par méthanier ou encore de le stocker sous forme liquide.

10 Les procédés utilisés et décrits dans l'art antérieur, notamment dans les brevets US 3.735.600 et US 3.433.026, décrivent des procédés de liquéfaction comportant principalement une première étape au cours de laquelle le gaz naturel est prérefroidi par vaporisation d'un mélange réfrigérant, et une seconde étape qui permet de réaliser l'opération finale de liquéfaction du gaz naturel et d'obtenir le gaz liquéfié sous forme susceptible d'être transportée ou stockée, la réfrigération au cours de cette seconde étape étant également assurée par vaporisation d'un mélange réfrigérant.

20 Dans de tels procédés, un mélange de fluides utilisé comme fluide réfrigérant dans le cycle de réfrigération externe est vaporisé, comprimé, refroidi en échangeant de la chaleur avec un milieu ambiant tel que de l'eau ou de l'air, condensé, détendu et recyclé.

Le mélange réfrigérant utilisé dans le second étage dans lequel est assurée la seconde étape de réfrigération est refroidi par échange de chaleur avec le milieu ambiant de refroidissement, eau ou air, puis dans le premier étage dans lequel est assurée la première étape de réfrigération.

30 A l'issue du premier étage, le mélange réfrigérant se présente sous la forme d'un fluide diphasique comportant une phase vapeur et une phase liquide. Lesdites phases sont séparées, par exemple dans un ballon séparateur, et envoyées, par exemple, dans un échangeur bobiné, dans lequel la fraction vapeur est condensée, tandis que le gaz naturel est liquéfié sous pression, la réfrigération étant assurée par vaporisation de la fraction liquide de mélange réfrigérant. La fraction liquide obtenue par condensation de la fraction vapeur, est sous-refroidie, détendue et vaporisée pour assurer la liquéfaction finale du gaz naturel, qui est sous-refroidi avant d'être détendu à travers une vanne ou une turbine pour produire le Gaz Naturel liquéfié (GNL) recherché.

La présence d'une phase vapeur nécessite une opération de condensation sur le mélange réfrigérant au niveau du second étage qui demande un dispositif relativement complexe et coûteux.

L'art antérieur décrit aussi des procédés fonctionnant par compression et détente d'un gaz permanent, tel que l'azote, qui présente l'avantage de présenter une conception simple. Néanmoins, la performance de tels types de dispositifs est limitée et de plus ils sont mal adaptés à la réalisation d'unités industrielles de liquéfaction d'un gaz naturel, de grande capacité.

Par gaz naturel, nous entendons dans toute la description, un mélange formé majoritairement de méthane, mais pouvant contenir également d'autres hydrocarbures et de l'azote, quelque soit l'état dans lequel il se trouve (gazeux, liquide ou diphasique). Le gaz naturel au départ se présente majoritairement à l'état gazeux, et à une valeur de pression telle, qu'au cours de l'étape de liquéfaction, il peut se trouver dans différents états, par exemple liquide et gazeux coexistant à un instant donné.

L'objet de la présente invention est d'offrir un procédé et/ou un dispositif de liquéfaction d'un fluide, notamment un gaz naturel, plus simple et moins coûteux, en réalisant une étape de réfrigération plus poussée au niveau du premier étage de l'unité de liquéfaction, en opérant dans des conditions telles qu'en sortie de premier étage, le mélange réfrigérant utilisé notamment comme agent de réfrigération dans le second étage, se trouve sous une forme monophasique en phase condensée, ne comportant pratiquement pas de phase vapeur ou alors en proportion minime.

Dans toute la suite de la description, les expressions "monophasique en phase condensée" ou "monophasique condensé", désignent un état qui caractérise un mélange réfrigérant ou un fluide, se présentant sous forme liquide ou encore correspondant à une phase supercritique, par opposition à l'état diphasique qui caractérise l'art antérieur.

La présente invention concerne un procédé de liquéfaction d'un fluide G formé au moins en partie d'un mélange d'hydrocarbures, par exemple un gaz naturel.

Le procédé de liquéfaction se caractérise en ce qu'il comporte au moins les étapes suivantes :

- a) on refroidit ledit fluide G sous pression et on refroidit un mélange réfrigérant M dans des conditions de pression et de température choisies pour obtenir à l'issue de l'étape a) un mélange réfrigérant monophasique condensé, la température à l'issue de l'étape a) étant inférieure à -40°C,

3

- b) on sous-refroidit, on détend et on vaporise ledit mélange réfrigérant issu de la première étape a), de façon à assurer le sous-refroidissement au moins dudit fluide G et le sous-refroidissement du mélange réfrigérant, le mélange réfrigérant M obtenu à l'étape a) étant détendu à au moins deux niveaux de pression différents, et
- c) on détend ledit fluide sous-refroidi au cours de l'étape b) pour l'obtenir en phase liquide à base pression.

10 Selon un mode de mise en oeuvre du procédé, le mélange réfrigérant M vaporisé lors de l'étape b) peut être comprimé et recyclé vers l'étape a).

A l'issue de l'étape a), le mélange réfrigérant monophasique condensé est, par exemple, une phase liquide, ou bien le mélange réfrigérant peut être en phase dense, et la température est inférieure à -60°C .

La phase dense est, par exemple une phase dense supercritique.

Selon un mode de mise en oeuvre du procédé, au cours de l'étape a), le mélange réfrigérant est, par exemple, refroidi à une pression au moins égale à 3 MPa.

20 Le mélange réfrigérant M utilisé lors la deuxième étape b) peut comporter au moins un ou plusieurs des constituants suivants : méthane, éthane, propane, azote.

Selon un mode de mise en oeuvre de la méthode, on détend le mélange réfrigérant M issu de l'étape a), par exemple, au moins à deux niveaux de pression différents.

On peut utiliser des cycles de réfrigération indépendants pour la première étape a) et la deuxième étape b).

30 Selon un mode de réalisation, on utilise un cycle de réfrigération unique pour la première et la seconde étape, le cycle opérant, par exemple, avec un mélange réfrigérant partiellement condensé par échange de chaleur avec de l'eau et/ou de l'air de refroidissement, la fraction liquide issue de cette condensation

partielle étant, par exemple, sous-refroidie, détendue et vaporisée pour assurer au moins en partie la réfrigération requise au cours de cette première étape et la fraction vapeur issue de cette condensation partielle formant au moins en partie le mélange M qui à l'issue de la première étape a) du procédé est monophasique condensé.

On fait circuler, par exemple, le fluide G formé au moins en partie d'un mélange d'hydrocarbures de manière ascendante, et on réalise au cours de l'étape a) le fractionnement du fluide G, par échange de matière entre le fluide et au moins une fraction liquide condensée circulant de manière descendante.

10

Au moins une des étapes de réfrigération de l'étape a) et/ou de l'étape b) est effectuée, par exemple, dans un échangeur à plaques en aluminium brasé ou encore dans un échangeur à plaques en acier inoxydable.

La présente invention concerne également un dispositif de liquéfaction d'un fluide G formé au moins en partie d'un mélange d'hydrocarbures, tel qu'un gaz naturel.

Il est caractérisé en ce qu'il comporte par exemple :

- au moins une première zone de réfrigération adaptée pour opérer dans des conditions de température jusqu'à au moins -40°C , de manière à obtenir en sortie un mélange réfrigérant monophasique condensé, et refroidir ledit fluide G jusqu'à au moins -40°C , cette première zone de réfrigération communiquant avec,
- au moins une seconde zone de réfrigération adaptée pour opérer, par exemple jusqu'à une température au moins inférieure à -160°C , à l'issue de laquelle, le fluide G est réfrigéré sensiblement voisine de -160°C , par vaporisation dudit mélange réfrigérant issu de ladite première zone de réfrigération, le mélange réfrigérant étant détendu par au moins deux vannes (V_4 ; V_5) à au moins deux niveaux de pression différents, et
- au moins un moyen de détente du fluide G réfrigéré issu de la seconde zone de réfrigération, ce moyen de détente étant, par exemple disposé à la suite de la seconde zone de réfrigération.

30

4a

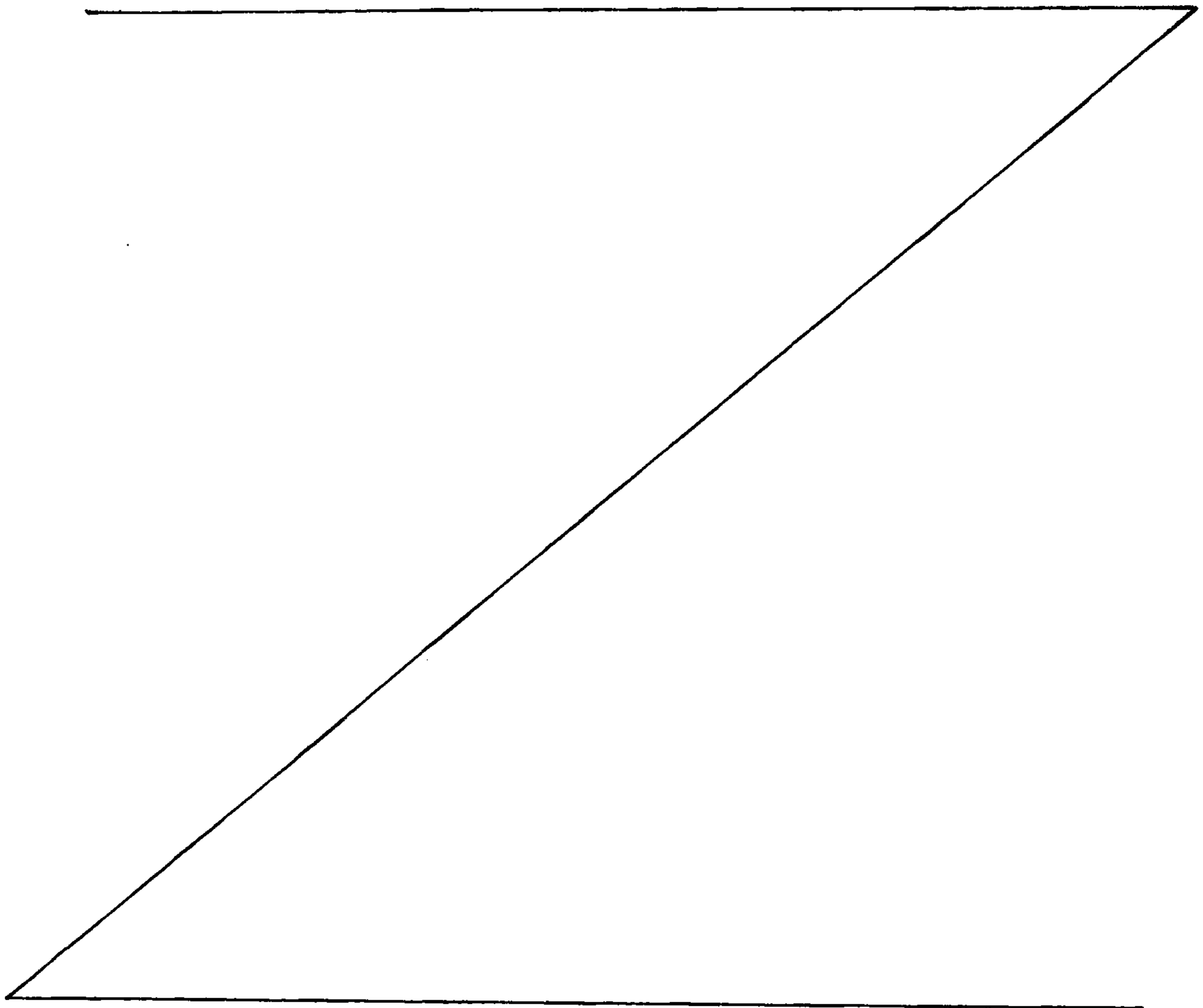
La seconde zone de réfrigération est par exemple adaptée pour assurer le sous refroidissement du mélange réfrigérant monophasique condensé.

Le dispositif est, par exemple, adapté à liquéfier et à fractionner un fluide G tel qu'un gaz naturel et peut comporter au moins un moyen de fractionnement du fluide G, de manière à obtenir une phase gazeuse enrichie en hydrocarbures légers et une phase liquide enrichie en hydrocarbures lourds.

Le ou les moyen de fractionnement comportent, par exemple, un échangeur de chaleur équipé de moyens de soutirage des différents constituants du gaz naturel fractionné.

10

Le dispositif comporte au niveau de la première zone de réfrigération et/ou au niveau de la seconde zone de réfrigération, un ou plusieurs échangeurs de chaleur.



L'une au moins des zones de réfrigération comporte, par exemple un ou plusieurs échangeurs de chaleur, par exemple, un échangeur à plaques ou un échangeur à plaques en aluminium brasé ou encore dans un échangeur à plaques en acier inoxydable

5

Ainsi, la présente invention offre notamment les avantages suivants :

- le mélange réfrigérant se présentant à l'issue de la première étape à l'état dit "monophasique condensé", on évite une opération de liquéfaction de la phase gazeuse ou vapeur, au niveau du second étage du procédé qui nécessite des dispositifs complexes et coûteux, par exemple des échangeurs bobinés,
- il n'est plus nécessaire de séparer, à la sortie du premier étage de réfrigération, le mélange utilisé dans le second étage en une fraction liquide et une fraction vapeur,
- en réfrigérant le mélange utilisé dans le second étage au voisinage des conditions critiques, on évite d'avoir à évacuer, à basse température une enthalpie de condensation importante, ce qui permet d'améliorer les conditions de fonctionnement du second étage et de le rendre moins coûteux.

10

15

20

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront mieux à la lecture de la description donnée ci-après à titre d'exemples de réalisation, dans le cadre d'applications nullement limitatives à la liquéfaction du gaz naturel, en se référant aux dessins annexés où :

- la figure 1 schématise un exemple de cycle de liquéfaction tel que décrit et utilisé dans l'art antérieur,
- les figures 2, 3 et 4 schématisent respectivement les étapes du procédé de liquéfaction du gaz naturel, et les diagrammes pression enthalpie, décrivant l'évolution de l'état d'un mélange réfrigérant,
- la figure 5 montre une variante de réalisation de l'invention appliqué à la liquéfaction du gaz naturel, comportant des cycles de réfrigération indépendants pour les deux étages de réfrigération,
- la figure 6 schématise une autre variante de réalisation dans laquelle la réfrigération des premier et second étage est effectuée à l'aide d'un cycle unique, et
- la figure 7 représente schématiquement une variante de dispositif permettant d'effectuer simultanément la liquéfaction du gaz naturel et son fractionnement.

25

30

35

La figure 1 représente un schéma de principe d'un procédé utilisé selon l'art antérieur appliqué à la liquéfaction du gaz naturel.

Le procédé comporte un premier étage de réfrigération du gaz naturel à l'issue duquel, la température du gaz naturel et celle du mélange réfrigérant utilisé se trouvent sensiblement égales à -30°C .

Le mélange réfrigérant utilisé dans le second étage de réfrigération, se présente à la sortie du premier étage de réfrigération, sous la forme d'un fluide diphasique comportant une phase vapeur et une phase liquide, lesdites phases étant séparées à l'aide d'un dispositif représenté sur la figure par un ballon de séparation. Ces deux phases sont envoyées dans un échangeur bobiné permettant de réaliser le refroidissement final du gaz naturel prérefroidi au cours de la première étape. Pour cela, la phase vapeur issue du ballon séparateur est condensée en utilisant la fraction liquide comme fluide de réfrigération, puis sous-refroidie et vaporisée afin d'assurer la réfrigération et la liquéfaction du gaz naturel.

Le principe mis en oeuvre selon l'invention décrite ci-après repose essentiellement sur la mise en oeuvre d'au moins deux étapes. A l'issue de la première étape, le mélange réfrigérant utilisé au cours de la seconde étape de réfrigération, se présente à l'état "monophasique condensé", c'est-à-dire, essentiellement sous forme d'une phase unique, par exemple en phase liquide ou en phase dense supercritique, et au cours de la seconde étape à effectuer la liquéfaction finale du gaz naturel refroidi au cours de la première étape à l'aide de ce mélange réfrigérant à l'état monophasique condensé.

Par rapport au procédé selon l'art antérieur, le mélange réfrigérant, utilisé au cours de la seconde étape de réfrigération, ne comporte pas de fraction vapeur, ou en proportion minime à l'issue de la première étape de liquéfaction. On évite ainsi une opération de condensation de la fraction vapeur.

De manière préférée, le mélange réfrigérant se trouve dans des conditions proches des conditions critiques (voisines du point critique du mélange), soit dans un état de phase liquide, soit dans un état de phase dense supercritique.

Ainsi, le procédé selon l'invention décrit ci-après en relation avec les figures 2, 3 et 4, consiste à réaliser la première étape en choisissant des conditions thermodynamiques, par exemple la pression et la température, telles qu'à l'issue de cette première étape, le mélange réfrigérant se présente à l'état dit "monophasique condensé".

La figure 2 montre un schéma de principe du procédé selon l'invention où seuls les parcours suivis par le mélange réfrigérant utilisé comme agent de réfrigération au niveau du second étage et par le gaz naturel à liquéfier sont représentés.

Le procédé de liquéfaction comporte deux étages de réfrigération représentés par les références D_1 et D_2 . Le mélange réfrigérant est introduit en phase gazeuse dans le premier étage D_1 par un conduit 1 à une température voisine de l'ambiante, par exemple d'environ 40°C , et avec une pression, par exemple, voisine de 6 MPa. Il est alors refroidi dans cet étage D_1 et ressort avec une température, de préférence, au moins inférieure à -40°C , par exemple voisine de -70°C . En sortie du premier étage D_1 , il se présente dans un état "monophasique condensé", notamment, mais non exclusivement, sous forme d'une phase liquide ou encore d'une phase dense supercritique obtenue en suivant une évolution dans un diagramme de coordonnées pression et enthalpie, qui est soit similaire à l'évolution représentée par le schéma de la figure 3 (phase condensée liquide à l'issue de la première étape de réfrigération), soit similaire à celle qui est représentée par le schéma de la figure 4 (phase condensée supercritique à l'issue de la première étape de réfrigération).

Le mélange réfrigérant à l'état "monophasique condensé", est ensuite envoyé par le conduit 2 vers un second étage D_2 dans lequel il est utilisé comme réfrigérant du gaz naturel, par exemple par échange thermique. Après sous-refroidissement, le mélange réfrigérant est détendu à travers un dispositif de détente, tel qu'une vanne V_0 disposée sur le conduit 3, ou encore une turbine qui offre l'avantage d'améliorer les performances du cycle de réfrigération. Le mélange réfrigérant détendu est ensuite introduit par le conduit 4 dans le second étage D_2 et vaporisé au moins partiellement pour assurer la réfrigération finale du gaz naturel. A la sortie du second étage, le mélange est envoyé par le conduit 5 vers un dispositif de compression comportant par exemple un compresseur K_0 et un échangeur E_0 disposé par exemple après le compresseur, avant d'être renvoyé vers le premier étage D_1 par le conduit 1.

Le gaz naturel à liquéfier, est envoyé à une température, par exemple de l'ordre de 40°C et une pression par exemple voisine de 6 MPa, par la conduite 7 dans le premier étage D_1 où il est prérefroidi par le mélange réfrigérant. En sortie de ce premier étage, il se trouve à une température, de préférence, au moins inférieure à -40°C et à une pression sensiblement égale à sa valeur de pression initiale.

Il passe ensuite dans le second étage par le conduit 8 où il est refroidi jusqu'à la température finale souhaitée, par exemple à une température voisine de -160°C , avant d'être détendu par un dispositif approprié, tel qu'une vanne V ou une turbine, situé par exemple sur le conduit 9 dans le prolongement du second étage D_2 .

L'évolution suivie par le mélange réfrigérant utilisé dans le second étage est schématisé dans un diagramme de coordonnées pression (P), enthalpie (H), représenté sur les figures 3 et 4, respectivement pour un mélange de réfrigérant qui se trouve, à la sortie du premier étage, sous une forme liquide ou sous une
5 forme dense supercritique.

Dans ces diagrammes, la courbe référencée "e" représente l'enveloppe de phase, délimitant le domaine dans lequel le mélange réfrigérant peut former deux phases respectivement liquide et vapeur en équilibre.

La figure 3 schématise l'évolution de l'état thermodynamique du mélange
10 réfrigérant dans le cas où, à l'issue de la première étape (en sortie de D_1), le mélange se présente à l'état monophasique condensé liquide. Il se trouve initialement dans un état gazeux ou vapeur représenté sur le diagramme par le point A correspondant à une température T_a et à une pression P_a . Dans le premier étage D_1 , le mélange est refroidi jusqu'à une température $T_{a'}$, de
15 préférence inférieure à -40°C , jusqu'à un état liquide représenté par exemple par le point A' qui se trouve sur la branche liquide (l).

Le mélange réfrigérant essentiellement en phase liquide est sous-refroidi dans le second étage D_2 , cette évolution étant représentée sur le diagramme par le passage du point A' au point B, puis détendu évoluant ainsi du point B vers le
20 point B'.

Lorsque la détente est réalisée à travers une vanne, elle est sensiblement isenthalpique. Cette détente à travers une vanne est représentée sur le diagramme de la figure 3 par l'évolution du point B vers le point B'.

Elle peut aussi sans sortir du cadre de l'invention être réalisée à travers
25 une turbine en suivant une évolution qui se rapproche d'une évolution isentropique.

Dans un autre exemple de mise en oeuvre du procédé selon l'invention, le mélange réfrigérant se trouve initialement dans un état supercritique représenté
30 dans le diagramme sur la figure 4 par un point A correspondant à une pression P_a supérieure à la pression P_c du cricondenbar.

Le mélange réfrigérant est refroidi dans le premier étage selon une évolution sensiblement isobare schématisée sur le diagramme par le passage du point A vers le point A', sans traverser le domaine diphasique.

35 Au point A', le mélange est dans un état de phase supercritique dense, à partir duquel par détente, on obtient une phase liquide en évitant à tout moment de passer par un changement de phase discontinu.

Le mélange réfrigérant est ensuite sous-refroidi dans le deuxième étage en suivant une évolution représentée sur le diagramme par le passage du point A' vers le point B.

Il est ensuite détendu, par exemple à travers une vanne, en suivant l'évolution décrite par le passage du point B vers le point B', la détente pouvant aussi être réalisée à travers une turbine.

Après détente, le mélange réfrigérant est vaporisée pour assurer la réfrigération finale du gaz naturel.

10 Les étages D_1 et D_2 comportent des dispositifs appropriés permettant de refroidir le mélange réfrigérant et d'assurer la réfrigération et la détente finale du gaz naturel de façon à obtenir un gaz naturel liquéfié transportable ou dans un état permettant son stockage.

Le premier étage D_1 comporte par exemple une ou plusieurs zones d'échange de chaleur, mettant en oeuvre des échangeurs à passes multiples tels que, par exemple, des échangeurs à plaques, de façon à abaisser la température du mélange réfrigérant au moins jusqu'à une température, de
20 préférence inférieure à -40°C de manière à obtenir en sortie de D_1 un mélange réfrigérant se présentant en phase condensée liquide ou supercritique par exemple.

Le second étage D_2 , de façon similaire, comprend par exemple un ou plusieurs échangeurs de chaleur, et des dispositifs permettant de détendre et vaporiser le mélange réfrigérant pour l'utiliser comme agent de réfrigération et réaliser l'opération de refroidissement finale du gaz naturel.

A l'issue de ce second étage, le gaz naturel refroidi au cours des deux premières étapes est détendu à
30 travers un dispositif approprié pour obtenir le Gaz Naturel Liquéfié (GNL).

Le principe de base du procédé consiste au cours d'une première étape de réfrigération à refroidir simultanément le gaz naturel et un mélange réfrigérant initialement en phase vapeur, à une pression suffisamment élevée et jusqu'à une température suffisamment basse, pour obtenir à l'issue de

la première étape de réfrigération un mélange réfrigérant "monophasique condensé", tel que défini précédemment, qui est ensuite envoyé vers une seconde étape de réfrigération, dans laquelle il est sous-refroidi, puis détendu et vaporisé afin d'assurer la réfrigération requise dans cette seconde étape.

La pression à laquelle le mélange réfrigérant est refroidi dans la première étape est de préférence au moins égale à 3 MPa.

La température jusqu'à laquelle le mélange réfrigérant est refroidi dans la première étape est de préférence au moins inférieure à -40°C et préférablement inférieure à -60°C .

Du fait des conditions thermodynamiques spécifiques demandées pour la réalisation du procédé, certains mélanges réfrigérants sont particulièrement bien adaptés pour réaliser cette opération.

Ainsi, de préférence, le procédé selon l'invention utilise pour réaliser l'étape b) un mélange réfrigérant M comportant par exemple au moins un ou plusieurs constituants choisis parmi les suivants: le méthane, l'éthane, le propane et/ou l'azote.

Le ou les constituants choisis se retrouvent par exemple dans le mélange réfrigérant dans les proportions suivantes, exprimées en pourcentage molaire:

- C_1 entre 65 et 95%
- N_2 entre 0 et 20%
- C_2 entre 0 et 30%
- C_3 entre 0 et 20%.

La figure 5 illustre l'application du procédé selon l'invention à la liquéfaction du gaz naturel, comportant une première étape à l'issue de laquelle le mélange réfrigérant se trouve sous une forme liquide à une température par exemple voisine de -70°C , le mélange réfrigérant liquide étant ensuite envoyé vers le second étage. Le mélange réfrigérant envoyé dans le second étage se présentant sous une forme monophasique condensée, il n'est pas nécessaire de procéder au niveau de

ce second étage à une opération de condensation de la fraction vapeur du mélange réfrigérant habituellement réalisée dans les dispositifs de l'art antérieur.

Dans cet exemple de réalisation, la réfrigération requise au niveau du premier étage et celle du second étage sont assurées par des cycles de réfrigération indépendants.

A titre d'exemple illustratif et non limitatif, le premier étage (D_1 figure 2) comporte par exemple trois zones d'échange de chaleur E_1 , E_2 , E_3 , disposées en cascade, et le
10 second étage (D_2 figure 2) comporte, par exemple deux zones d'échange de chaleur E_4 et E_5 , disposées en cascade. Chacun de ces étages est muni de moyens de détente tels que les vannes de détente V_1 à V_5 .

Les zones d'échange de chaleur sont réalisées par exemple au moyen d'échangeurs individuels, distincts les uns des autres et reliés les uns aux autres, ou encore au moyen d'un échangeur unique, pourvu des moyens de soutirage et de réinjection nécessaires.

La réalisation de ces étages peut faire appel à des
20 technologies diverses de réalisation, par exemple des échangeurs à plaques pourvus de moyens de soutirage et de réinjection permettant notamment de transférer le gaz naturel à des unités de fractionnement représentées notamment sur la figure 7, ceci restant vrai dans tous les cas énoncés dans la description.

De plus en sortie du second étage, une vanne de détente V_6 , ou une turbine de détente, assure la détente finale du gaz naturel refroidi pour obtenir le gaz naturel liquéfié ou GNL.

30 Le mélange réfrigérant utilisé dans le second étage, après vaporisation, est comprimé à l'aide des étages de compression K_1 , K_2 , puis refroidi dans l'échangeur C_2 à l'aide, par exemple d'eau ou d'air de refroidissement avant d'être envoyé à nouveau vers le premier étage.

Les cycles de réfrigération étant indépendants, la réfrigération au niveau du premier étage est assurée par exemple par un cycle de réfrigération décrit ci-après en

détail et comportant, par exemple, plusieurs compresseurs K_3 , K_4 , K_5 et un condenseur C_5 permettant de comprimer et de condenser le mélange réfrigérant utilisé dans le premier étage.

Le mélange réfrigérant utilisé dans le premier étage comprend par exemple comme constituants: l'éthane, le propane, le butane, le méthane.

Ces constituants sont utilisés par exemple selon les proportions suivantes, exprimées en pourcentage molaire:

- 10
- C_2 entre 5 et 60%
 - C_3 entre 5 et 60%
 - C_4 entre 0 et 20%
 - C_5 entre 0 et 10%.

Le mélange réfrigérant utilisé dans le premier étage contient de préférence de l'éthane, cet éthane est préférablement le constituant majoritaire, c'est-à-dire le constituant dont la fraction molaire dans le mélange est la plus élevée.

20 Le procédé mis en oeuvre comporte par exemple les étapes suivantes:

- Le mélange réfrigérant M utilisé dans le second étage de réfrigération, est introduit dans la première zone d'échange E_1 par le conduit 10, par exemple à une température voisine de 40°C et sous une pression, par exemple, sensiblement égale à 6 MPa. Il est refroidi à l'aide d'une première fraction f_1 du mélange réfrigérant M' (utilisé dans la première étape de réfrigération) et envoyé dans la seconde zone d'échange E_2 par le conduit 20. De manière similaire, il est refroidi à l'aide d'une seconde fraction f_2 du mélange
- 30 réfrigérant M' et envoyé dans la troisième zone d'échange E_3 , dans laquelle il est refroidi par une troisième fraction f_3 du mélange réfrigérant M' par exemple jusqu'à une température de l'ordre de -70°C . Sa pression est sensiblement voisine à la valeur de pression qu'il possédait initialement, c'est-à-dire dans cet exemple de mise en oeuvre du procédé, légèrement inférieure à 6 MPa, en raison des pertes de charge dans les zones d'échange de chaleur (E_1 , E_2 , E_3).

L'obtention des trois fractions f_1 , f_2 et f_3 du mélange réfrigérant M permettant de réfrigérer et de faire passer le mélange réfrigérant M sous une forme "monophasique condensée" est décrite ci-après.

5 Dans les conditions, de pression et de température obtenues à la sortie du premier étage, c'est-à-dire -70°C et 6MPa dans l'exemple cité, le mélange réfrigérant M issu du premier étage se présente essentiellement sous une forme monophasique condensée telle que définie précédemment.

10 Ce mélange réfrigérant M, essentiellement condensé, est envoyé vers le second étage, dans lequel il joue le rôle d'agent réfrigérant pour le gaz naturel à liquéfier.

Le gaz naturel à liquéfier est introduit dans la première zone d'échange de chaleur E_1 par le conduit 1 à une température par exemple voisine de 40°C et avec une pression par exemple égale à 6 MPa. Il est refroidi en passant successivement dans les zones d'échange de chaleur E_1 , E_2 et E_3 , en suivant
15 une évolution de température et de pression sensiblement voisine de celle qui est suivie par le mélange réfrigérant M. En sortie de la troisième zone d'échange de chaleur E_3 , il se trouve par exemple, à une température de l'ordre de -70°C et à une pression proche de sa valeur initiale, c'est-à-dire de l'ordre de 6 MPa.

20 Le gaz naturel ainsi refroidi est envoyé, en partie ou en totalité, par le conduit 41 vers le second étage de réfrigération finale, dans lequel il refroidi jusqu'à la température finale souhaitée, à l'aide du mélange réfrigérant M selon, par exemple, le schéma décrit ci-après.

Le mélange réfrigérant M est introduit en phase condensée par le conduit 42 dans la première zone d'échange E_4 du second étage d'où il ressort par le
25 conduit 52. Une fraction de ce mélange réfrigérant monophasique condensé est dérivée par le conduit 54 pour être détendue par passage dans la vanne V_4 puis réintroduite par le conduit 55 dans la zone d'échange de chaleur E_4 , où elle assure en se vaporisant à un premier niveau de pression, la réfrigération du gaz naturel pénétrant par le conduit 41 jusqu'à une température, par exemple voisine
30 de -100°C , le gaz naturel étant ensuite envoyé dans la seconde zone d'échange de chaleur E_5 du second étage.

La fraction du mélange réfrigérant M monophasique condensé non dérivée est introduite dans la seconde zone d'échange de chaleur E_5 du second étage par le conduit 53 et en ressort par le conduit 73 pour être détendue à travers la
35 vanne V_5 avant d'être envoyée dans la seconde zone d'échange de chaleur E_5 pour assurer la réfrigération finale du gaz naturel jusqu'à, par exemple une température voisine de -160°C , avant de le détendre à travers une vanne de détente V_6 disposée sur la conduite d'évacuation 71 pour former le gaz naturel

liquéfié ou GNL produit. Le gaz naturel liquéfié ainsi obtenu est ensuite envoyé dans une conduite 72 par exemple vers un réseau de transport et de distribution.

Il est bien entendu que sans sortir du cadre de l'invention, la vanne de détente peut être remplacée par une turbine de détente ou tout dispositif réalisant une fonction similaire, présentant notamment l'avantage d'optimiser le rendement du procédé.

Dans cet exemple, le mélange réfrigérant M est détendu à deux niveaux de pression successifs. Ceci permet de réduire la puissance de compression nécessaire, en comprimant la fraction de mélange réfrigérant sortant vaporisée de la zone d'échange de chaleur E₄ à partir d'un niveau de pression intermédiaire et non à partir de la pression la plus basse requise dans la zone d'échange de chaleur E₅ pour atteindre la température de réfrigération finale.

Sans sortir du cadre de l'invention, il est aussi possible de détendre le mélange réfrigérant M à plusieurs niveaux de pression intermédiaires, pour optimiser les performances du cycle de réfrigération.

Avantageusement il est possible, par exemple au niveau du premier étage de réfrigération, d'effectuer une opération de fractionnement du gaz naturel, par exemple sur le gaz naturel en sortie de la seconde zone d'échange de chaleur E₂.

La température à laquelle on réalise l'opération de fractionnement sur le gaz naturel, est choisie, notamment en fonction de sa composition et des spécifications requises pour le GNL produit.

Le gaz naturel est envoyé par l'intermédiaire du conduit 31 vers un dispositif de fractionnement F qui permet de fractionner le gaz naturel et d'obtenir au moins une fraction liquide contenant une partie des hydrocarbures les plus lourds mélangés au méthane et au moins une deuxième fraction enrichie en méthane. Cette dernière fraction est envoyée par le conduit 35 vers la zone d'échange de chaleur E₃.

Sans sortir du cadre de l'invention, il est possible de réaliser ce fractionnement en sortie de la zone d'échange de chaleur E₃.

La manière d'obtenir les fractions f₁, f₂, f₃ du mélange réfrigérant qui assure la réfrigération du premier étage, se déroule par exemple selon le schéma suivant :

Le mélange réfrigérant M' utilisé pour obtenir la réfrigération requise au cours de la première étape de réfrigération est introduit dans la première zone d'échange de chaleur E₁ à une température, par exemple, d'environ 40 °C et sous une pression par exemple voisine de 3 MPa. En sortie de cette première

zone d'échange de chaleur E_1 , il est envoyé au moins en partie par le conduit 25 dans la seconde zone d'échange de chaleur E_2 alors qu'une autre partie ou première fraction f_1 est dérivée par le conduit 23, détendue à travers une vanne de détente V_3 avant d'être renvoyée dans la première zone d'échange de chaleur E_1 par le conduit 24. La fraction non dérivée du mélange M' est envoyée vers la seconde zone d'échange de chaleur E_2 par le conduit 25 et ressort de cette zone d'échange de chaleur par le conduit 61. Une seconde fraction f_2 du mélange M' est dérivée par le conduit 33, détendue par la vanne V_1 et renvoyée par le conduit 34 dans la zone d'échange de chaleur E_2 à une température de l'ordre de -30 °C pour assurer la réfrigération requise dans cette seconde zone d'échange de chaleur E_2 .

La troisième fraction f_3 non dérivée est introduite dans la troisième zone d'échange de chaleur E_3 , ressort de cette zone d'échange par le conduit 64 puis est détendue à travers la vanne de détente V_2 avant d'être réinjectée au niveau de la troisième zone d'échange de chaleur E_3 pour assurer la réfrigération du gaz naturel et du mélange réfrigérant M .

Après passage dans la troisième zone d'échange de chaleur E_3 et échange thermique avec le gaz naturel et le mélange réfrigérant, le mélange réfrigérant M' est recomprimé dans l'étage de compression K_3 , envoyé et mélangé avec la fraction du mélange ayant assuré la réfrigération au niveau de la seconde zone d'échange de chaleur d'où il ressort par le conduit 26. L'ensemble est envoyé par l'intermédiaire du conduit 66 vers un étage de compression K_4 , à l'issue duquel il est mélangé avec la fraction du mélange provenant de la zone d'échange de chaleur E_1 par le conduit 28, l'ensemble étant ensuite envoyé par le conduit 27 vers l'étage de compression K_5 . Le mélange des trois fractions de mélange réfrigérant f_1 , f_2 , et f_3 recomprimé est envoyé par le conduit 29 vers le condenseur C_5 .

D'autres dispositions peuvent être adoptées pour le premier étage de réfrigération sans sortir du cadre de l'invention.

En particulier, il est possible à l'issue de l'étape de compression du mélange réfrigérant M' de ne le condenser qu'en partie, par refroidissement à l'aide d'eau ou d'air de refroidissement, en obtenant une première fraction liquide, et d'achever la condensation du mélange M' à l'intérieur du premier étage, dans une première zone d'échange de chaleur du premier étage dans laquelle la réfrigération est assurée par vaporisation de la première fraction liquide et d'utiliser la deuxième fraction liquide ainsi obtenue pour assurer la réfrigération dans une deuxième zone d'échange de chaleur du premier étage.

Il est également possible au cours de l'étape de compression du mélange réfrigérant M' d'obtenir des fractions liquides de compositions différentes par condensation partielle à différents niveaux de pression et de les utiliser pour assurer la réfrigération dans différentes zones d'échange de chaleur du premier étage.

Les conditions de fonctionnement, dans le cas de la disposition illustrée par le schéma de la figure 5, sont précisées par l'exemple numérique suivant :

Le gaz naturel arrive par le conduit 1 avec un débit de 310 t/an. Sa composition en fractions molaires est la suivante :

C ₁	:	0.89
N ₂	:	0.00
C ₂	:	0.07
C ₃	:	0.015
C ₄	:	0.01
C ₅₊	:	0.015

Il est à une pression de 6 MPa et à une température de +40 °C.

Dans le premier étage, comprenant les zones d'échange E₁, E₂ et E₃ il est refroidi jusqu'à une température de -70 °C.

Le mélange réfrigérant utilisé dans le premier cycle de réfrigération a la composition suivante (en fractions molaires) :

C ₁	:	0.001
C ₂	:	0.762
C ₃	:	0.108
nC ₄	:	0.129

Ce mélange réfrigérant est comprimé dans les étages de compression K₃, K₄ et K₅ jusqu'à une pression de 4 MPa. A la sortie de l'étage de compression K₅, il est refroidi dans l'échangeur C₅ par de l'eau de refroidissement jusqu'à une température de 40°C. Il en sort entièrement condensé. Dans la zone d'échange E₁, il est sous-refroidi jusqu'à une température de 9°C, puis détendu à travers la vanne V₃ et vaporisé dans la zone d'échange E₁, pour assurer la réfrigération requise dans cette zone d'échange. Sa pression à l'entrée de l'étage de compression K₅ est de 2 MPa. Il est ensuite sous-refroidi jusqu'à une température de -29 °C dans la zone d'échange E₂, puis détendu à travers la vanne V₁ et vaporisé dans la zone d'échange E₂, pour assurer la réfrigération requise dans cette zone d'échange. Sa pression à l'entrée de l'étage de

compression K4 est de 0,75 MPa. Il est enfin sous-refroidi jusqu'à une température de -70 °C dans la zone d'échange E3, puis détendu à travers la vanne V2 et vaporisé dans la zone d'échange E3, pour assurer la réfrigération requise dans cette zone d'échange. Sa pression à l'entrée de l'étage de compression K3 est de 0,16 MPa.

A la sortie de la zone d'échange E2 le gaz naturel est fractionné. A la sortie de l'étape de fractionnement le gaz naturel a la composition suivante (en fractions molaires) :

10	C1	:	0.93
	N2	:	0.00
	C2	:	0.07
	C3	:	0.00
	C4	:	0.00
15	C5+	:	0.00

Dans la zone d'échange E3 il est refroidi jusqu'à -70 °C, puis il est envoyé dans la zone d'échange E4 dans laquelle il est refroidi jusqu'à une température de -111°C, puis dans la zone d'échange E5 dans laquelle il est refroidi jusqu'à une température de -157 °C.

Le mélange réfrigérant utilisé dans le deuxième cycle de réfrigération, et se trouvant à l'issue de la première étape de réfrigération à l'état "monophasique condensé", a la composition suivante (en fractions molaires) :

25	N2	:	0.015
	C1	:	0.813
	C2	:	0.172

Ce mélange réfrigérant est comprimé dans les étages de compression K1 et K2 jusqu'à une pression de 5 MPa. A la sortie de l'étage de compression K2, il est refroidi dans l'échangeur C2 par de l'eau de refroidissement jusqu'à une température de 40°C. Il est alors envoyé dans le premier étage de réfrigération d'où il sort liquide sous-refroidi. Dans la zone d'échange E4, il est sous-refroidi jusqu'à une température de -111°C, puis détendu à travers la vanne V4 et vaporisé dans la zone d'échange E4 pour assurer la réfrigération requise dans cette zone d'échange. Sa pression à l'entrée de l'étage de compression K2 est de 1,3 MPa. Il est ensuite sous-refroidi jusqu'à une température de -157°C dans la zone d'échange E5 puis détendu à travers la vanne V5 et vaporisé dans la zone d'échange E5 pour assurer la réfrigération requise dans cette zone.

Le gaz naturel sort de la zone d'échange E5 à une température de -157°C . Il est alors détendu à travers la vanne de détente V6 jusqu'à une pression proche de la pression atmosphérique, la phase liquide ainsi obtenue formant le GNL produit.

5

Selon une autre manière d'opérer, les cycles de réfrigération de la première et de la seconde étape, sont effectués en utilisant un mélange réfrigérant unique, en opérant par exemple selon la disposition décrite sur la figure 6.

10

Le mélange réfrigérant unique est dans ce cas partiellement condensé par échange de chaleur avec de l'eau ou de l'air de refroidissement, la fraction liquide issue de cette condensation partielle étant sous-refroidie, détendue et vaporisée pour assurer au moins en partie la réfrigération requise au cours de cette première étape et la fraction vapeur issue de cette condensation partielle formant au moins en partie le mélange M, qui à l'issue de la première étape a) du procédé est monophasique condensé.

15

Dans l'exemple de réalisation décrit en relation avec la figure 6, le premier étage de réfrigération P_1 à l'issue duquel le mélange réfrigérant se trouve à l'état "monophasique condensé", est réalisé au moyen d'une ligne d'échange de chaleur unique formée par exemple par un échangeur à plaques adapté à réaliser au moins les opérations décrites à partir d'un dispositif décrit à la figure 5 pour le premier étage, et comportant en plus des moyens de soutirage et de réinjection nécessaires à l'opération de fractionnement du gaz naturel.

20

Dans cet exemple de mise en oeuvre du procédé, pour réaliser le fractionnement du gaz naturel, ce dernier est, par exemple, prélevé en un point intermédiaire de la ligne d'échange P_1 , mais peut sans sortir du cadre de l'invention être opéré à la sortie de la ligne d'échange P_1 .

25

La seconde étape de réfrigération est effectuée dans un second étage P_2 , dans lequel le gaz naturel est sous-refroidi jusqu'à une température suffisamment basse, par exemple -160°C , pour l'obtenir après détente par une vanne V_{11} sous une forme liquide ou GNL dans les conditions souhaitées pour le transport ou le stockage.

30

La réfrigération des deux étapes est assurée par un seul mélange réfrigérant de la manière suivante, par exemple :

35

Le mélange unique réfrigérant M_r est partiellement condensé dans le condenseur C, par exemple par échange de chaleur avec de l'eau et/ou de l'air de refroidissement, puis envoyé dans un dispositif de séparation S_1 à l'issue duquel les fractions liquide et vapeur sont traitées de manière différente. Au

moins une partie de la fraction liquide Ml assure la réfrigération au niveau du premier étage et la fraction vapeur, Mv est condensée dans ce premier étage, pour obtenir le mélange monophasique condensé assurant la réfrigération dans le second étage.

5 Ainsi, les fractions vapeur Mv et liquide Ml résultant de la séparation du mélange réfrigérant Mr dans le ballon S₁ sont évacuées respectivement en tête de ballon S₁ par le conduit 80 et en fond de ballon, par exemple par le conduit 81.

10 La fraction liquide Ml assure, dans le premier étage, la réfrigération du gaz naturel et en même temps permet d'obtenir en sortie de premier étage P₁, un mélange réfrigérant "monophasique condensé" à partir d'au moins une partie de la fraction vapeur Mv du mélange réfrigérant issue du ballon séparateur S₁ introduite dans l'étage P₁ par le conduit 80.

15 Pour cela la fraction liquide Ml, introduite par le conduit 81 dans la ligne d'échange P₁ est sous divisée à un premier niveau de température, par exemple sensiblement égal au niveau de température de la première zone d'échange de chaleur dans l'exemple donné en relation avec la figure 5, en une première fraction f5 évacuée par le conduit 82, détendue et vaporisée à travers la vanne de détente V₇ et renvoyée au niveau de l'étage P₁ par le conduit 83 pour assurer la
20 réfrigération du gaz naturel circulant de manière descendante par exemple dans le premier étage P₁, et la réfrigération de la fraction vapeur Mv du mélange réfrigérant issu du ballon séparateur S₁. La première fraction f5 ressort de l'étage P₁, après échange thermique avec le gaz naturel et la fraction vapeur du mélange réfrigérant, par la conduite 84 pour être envoyée vers un étage de
25 compression K (pouvant comporter un ou plusieurs compresseurs).

 La partie non dérivée du mélange réfrigérant liquide Ml continue sa circulation dans P₁ par le conduit 85 avant d'être à nouveau sous divisée. Ainsi une nouvelle fraction liquide du mélange Ml est dérivée par le conduit 86, détendue et vaporisée à travers la vanne V₈ située sur ce conduit, et réintroduite
30 par le conduit 87 dans le premier étage P₁ pour assurer la réfrigération du gaz naturel et du mélange réfrigérant, jusqu'à par exemple une température sensiblement voisine de la température obtenue à l'issue du second échangeur E₂ dans le cas de l'exemple décrit en relation avec la figure 5.

 La dernière partie non dérivée du mélange réfrigérant Ml utilisée comme
35 agent de réfrigération continue à circuler dans P₁ par le conduit 89, puis est évacuée en totalité du premier étage P₁ vers une vanne de détente V₉ avant d'être introduite après détente et vaporisation par le conduit 90 dans l'étage P₁ où elle assure la réfrigération du gaz naturel jusqu'à une température, de préférence, inférieure à -40°C et permet de condenser la fraction Mv du mélange réfrigérant

vapeur. Les différentes fractions du mélange réfrigérant M1 vaporisées à la sortie de l'étage P_1 sont ensuite envoyées vers le dispositif de compression K par les conduites 84, 88 et 91.

5 Le mélange ou bien les différentes fractions recomprimées au sein du dispositif de compression K sont ensuite envoyés par le conduit 92 vers le condenseur C et vers le ballon séparateur S_1 par le conduit 93.

10 A l'issue de la première étape, c'est-à-dire à la sortie du premier étage P_1 , la partie du mélange réfrigérant initialement introduit sous forme vapeur Mv, se trouve, par exemple, dans des conditions de température et de pression sensiblement voisines de celles données avec l'exemple décrit en relation avec la figure 5, par exemple - 70°C et 6 MPa. Ce mélange se présentant par exemple dans un état liquide ou essentiellement liquide, est envoyé vers le second étage P_2 pour assurer la deuxième étape de réfrigération du gaz naturel prérefroidi dans le premier étage P_1 .

15 Le mélange réfrigérant sous forme monophasique condensée, est introduit par le conduit 94 dans le second étage de réfrigération à travers lequel il peut être refroidi et détendu, par exemple, en plusieurs étapes, selon un schéma décrit à la figure 5, ou encore sous-refroidi et détendu en une seule étape à travers une vanne de détente V_{10} située sur le conduit d'évacuation 95 avant d'être
20 réintroduit par le conduit 96 à l'intérieur du second étage afin d'assurer la réfrigération finale du gaz naturel pour le faire passer à la température souhaitée, par exemple, environ -160 °C. Le gaz naturel sous-refroidi est ensuite détendu à travers la vanne V_{11} pour obtenir le gaz naturel liquéfié ou GNL.

25 Le mélange réfrigérant utilisé dans le second étage P_2 , ressort, au moins partiellement vaporisé après échange thermique avec le gaz naturel par un conduit 97 avant d'être renvoyé vers le conduit 90.

30 Le gaz naturel introduit au niveau du premier étage par le conduit 98 à une température par exemple de l'ordre de 40 °C, est dérivé, par exemple, vers le dispositif de fractionnement F_2 par le conduit 99 à un niveau de température, par exemple sensiblement voisin de -30°C. A l'issue du dispositif de fractionnement F_2 , la partie chargée en hydrocarbures lourds ou condensats est évacuée par le conduit 100, alors que la partie riche en hydrocarbures légers est envoyée par le conduit 101 vers le premier étage P_1 . La partie riche en hydrocarbures légers continue à être réfrigérée dans le premier étage jusqu'à une température de
35 préférence inférieure à -40°C. A la sortie du premier étage, elle est envoyée par le conduit 102 vers le second étage de réfrigération d'où elle ressort à une température, par exemple voisine de -160°C avant d'être détenue à travers la vanne de détente V_{11} ou tout autre dispositif réalisant la même fonction pour obtenir le gaz naturel liquéfié ou GNL évacué ensuite par le conduit 104.

Comme dans le cas de deux cycles indépendants, il est possible d'adopter d'autres dispositions pour le premier étage de réfrigération sans sortir du cadre de l'invention.

En particulier, il est possible au cours de l'étape de compression du mélange réfrigérant M2 d'obtenir des fractions liquides de compositions différentes par condensation partielle à différents niveaux de pression et de les utiliser pour assurer la réfrigération dans différentes zones d'échange de chaleur du premier étage.

Une caractéristique commune des différentes dispositions qui ont été décrites est que le mélange réfrigérant M qui est utilisé dans le second étage est envoyé essentiellement en phase vapeur dans le premier étage et ressort directement du premier étage à l'état monophasique condensé, sa composition étant globalement inchangée entre l'entrée dans le premier étage et la sortie du premier étage puis entre l'entrée dans le second étage et la sortie du second étage.

Le fractionnement du gaz naturel peut être réalisé en un autre point sans sortir du cadre de l'invention.

Avantageusement, le procédé selon invention permet de réaliser simultanément l'opération de liquéfaction d'un fluide formé au moins en partie d'un mélange d'hydrocarbure ou gaz naturel, en même temps que le fractionnement sélectif d'un ou plusieurs de ses constituants.

Un exemple de réalisation d'un tel procédé est décrit à la figure 7, représentant un dispositif de liquéfaction selon l'invention comportant un premier et un second étage de réfrigération respectivement P₃ et P₄ et des cycles de réfrigération indépendants pour ces deux étages. Le cycle assurant la réfrigération du premier étage est, par exemple, analogue au cycle décrit sur la figure 5.

Le procédé est par exemple appliqué à un gaz naturel renfermant des hydrocarbures autres que le méthane et notamment des hydrocarbures en C₃+

Dans cet exemple de réalisation, le gaz naturel à liquéfier et dont on souhaite simultanément réaliser le fractionnement, est par exemple introduit dans le premier étage P₃, constitué par exemple par un échangeur de chaleur à plaques, par le conduit 110 situé au niveau de sa partie inférieure.

Le gaz naturel circule de manière ascendante à l'intérieur de cet échangeur dans un circuit principal permettant d'assurer un transfert de matière entre le gaz à liquéfier et à fractionner, et le ou les hydrocarbures condensés qui circulent à contre-courant de manière descendante.

Le gaz naturel est ainsi simultanément refroidi à l'intérieur de ce premier étage et débarrassé au moins en partie des hydrocarbures lourds du fait de l'échange de matière.

La réfrigération du gaz naturel est réalisée soit, en utilisant un cycle de tête indépendant, analogue à celui qui est décrit en relation avec la figure 5, soit au moyen de la fraction liquide d'un mélange de réfrigérant unique, selon une disposition analogue à celle qui a été décrite en relation avec la figure 6.

La fraction de gaz naturel refroidie et débarrassée au moins en partie des hydrocarbures lourds est évacuée par le conduit 111 disposé au niveau de la partie supérieure de l'étage P_3 à une température de préférence inférieure à -40°C , avant d'être envoyée vers le second étage de réfrigération P_4 , ce dernier pouvant comporter par exemple deux zones d'échange de chaleur E_9 , E_{10} disposées en cascade. La réfrigération finale de cette fraction du gaz naturel riche en méthane et appauvrie en propane, butane et en hydrocarbures lourds s'effectue selon une disposition par exemple analogue à celle qui est décrite en relation avec la figure 5, par exemple, pour obtenir en sortie du second étage le gaz naturel sous-refroidi sous pression à une température par exemple voisine de -160°C , le gaz naturel sous-refroidi sous pression étant détendu à travers la vanne V_{13} située sur le conduit d'évacuation 112 produisant le gaz naturel liquéfié.

La ou les phases liquides hydrocarbures condensées descendant dans l'échangeur par gravité, à contre courant du gaz traité sont évacuées par le conduit 113 situé dans la partie inférieure du premier étage P_4 .

Le mélange réfrigérant assurant la réfrigération du gaz naturel dans le second étage est réfrigéré dans le premier étage à une pression suffisamment élevée et jusqu'à une température suffisamment basse pour qu'en sortie du premier étage de réfrigération, ce mélange réfrigérant soit sous forme "monophasique condensée". Il est alors envoyé par le conduit 114 vers le second étage dans lequel il assure la réfrigération du gaz naturel débarrassé des hydrocarbures lourds selon une disposition similaire à celle qui est utilisée dans l'exemple décrit en relation avec la figure 5. Après échange thermique avec le gaz naturel, le mélange réfrigérant est envoyé par le conduit 115 vers un dispositif de compression et de refroidissement référencé par les indices K_1 et C_9 , C_{10} avant d'être introduit à nouveau dans le premier étage par le conduit 116.

Selon un autre mode de mise en oeuvre du procédé selon l'invention, le mélange réfrigérant monophasique condensé est obtenu par exemple selon le procédé décrit en relation avec la figure 6, par la condensation d'au moins une partie de la fraction vapeur d'un mélange réfrigérant unique.

Différentes technologies, connues de l'homme du métier peuvent être employées pour réaliser les échanges de chaleur ou les zones d'échange de chaleur décrits dans les exemples donnés précédemment, et les moyens ou
5 dispositifs associés, parmi lesquelles certaines sont décrites à titre d'exemples non limitatifs dans la demande précédente du demandeur FR 2,739,916.

Notamment, les échangeurs E_1 , E_2 ,... décrits sur les figures précédentes et P_1 , P_2 , P_3 peuvent être de type tubes et calandre.

Selon une autre technologie, l'échangeur est un échangeur à plaques, par
10 exemple en aluminium brasé, comportant par exemple des plaques intercalaires ondulés qui permettent de maintenir mécaniquement l'assemblage et en même temps d'améliorer le transfert thermique. Les plaques délimitent des canaux dans lesquels circulent les fluides participant au cours du procédé à l'échange thermique. Elles jouent de plus un rôle d'un garnissage structuré favorisant le
15 contact entre le gaz ascendant et les fractions liquides qui descendent.

Les plaques sont par exemple en aluminium brasé ou encore en acier inoxydable ou tout autre matériau résistant au fluides à liquéfier et au mélange réfrigérant.

De manière à minimiser les coûts du dispositif de liquéfaction, il est
20 avantageux d'utiliser pour le premier étage un ou plusieurs échangeurs à plaques en aluminium brasé et pour le deuxième étage qui est soumis aux plus fortes contraintes mécaniques et thermiques, un ou plusieurs échangeurs à plaques en acier inoxydable.

REVENDICATIONS

1. Procédé de liquéfaction d'un fluide G formé au moins en partie d'un mélange d'hydrocarbures, caractérisé en ce qu'il comporte au moins les étapes suivantes:

a) on refroidit ledit fluide G sous pression et on refroidit un mélange réfrigérant M dans des conditions de pression et de température choisies pour obtenir à l'issue de l'étape a) un mélange réfrigérant monophasique condensé, la température à l'issue de l'étape a) étant inférieure à -40°C,

10 b) on sous-refroidit, on détend et on vaporise ledit mélange réfrigérant M issu de la première étape a), de façon à assurer le sous-refroidissement au moins dudit fluide G, et le sous-refroidissement d'au moins une partie dudit mélange réfrigérant, le mélange réfrigérant M obtenu à l'étape a) étant détendu à au moins deux niveaux de pression différents.

c) on détend ledit fluide sous-refroidi au cours de l'étape b) pour l'obtenir en phase liquide à basse pression.

2. Procédé de liquéfaction selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit mélange réfrigérant M vaporisé lors de l'étape b) est comprimé et recyclé vers l'étape a).

20 3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce qu'à l'issue de l'étape a), le mélange réfrigérant monophasique condensé est en phase liquide.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que l'issue de l'étape a) le mélange réfrigérant est en phase dense.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'issue de l'étape a), la température est inférieure à -60°C.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'au cours de l'étape a), le mélange réfrigérant est refroidi à une pression au moins égale à 3 MPa.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que le mélange réfrigérant M utilisé lors la deuxième étape b) comporte au moins un ou plusieurs des constituants suivants: méthane, éthane, propane, azote.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que l'on utilise des cycles de réfrigération indépendants pour la première étape a) et la deuxième étape b).

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que l'on utilise un cycle de réfrigération unique pour la première et la seconde étape, ledit cycle opérant avec un mélange réfrigérant partiellement condensé par échange de chaleur avec de l'eau et/ou de l'air de refroidissement, la fraction liquide issue de cette condensation partielle étant sous-refroidie, détendue et vaporisée pour assurer au moins en partie la réfrigération requise au cours de cette première étape et la fraction vapeur issue de cette condensation partielle formant au moins en partie le mélange M qui à l'issue de la première étape a) du procédé est monophasique condense.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que l'on fait circuler ledit fluide G de manière ascendante, et on réalise au cours de l'étape a) son fractionnement, par échange de matière entre ledit fluide G et au moins une fraction liquide condensée circulant de manière descendante.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que au moins une des étapes de réfrigération de l'étape a) et de l'étape b) est effectuée dans un échangeur à plaques ou un échangeur à

plaques en aluminium brasé ou encore dans un échangeur à plaques en acier inoxydable.

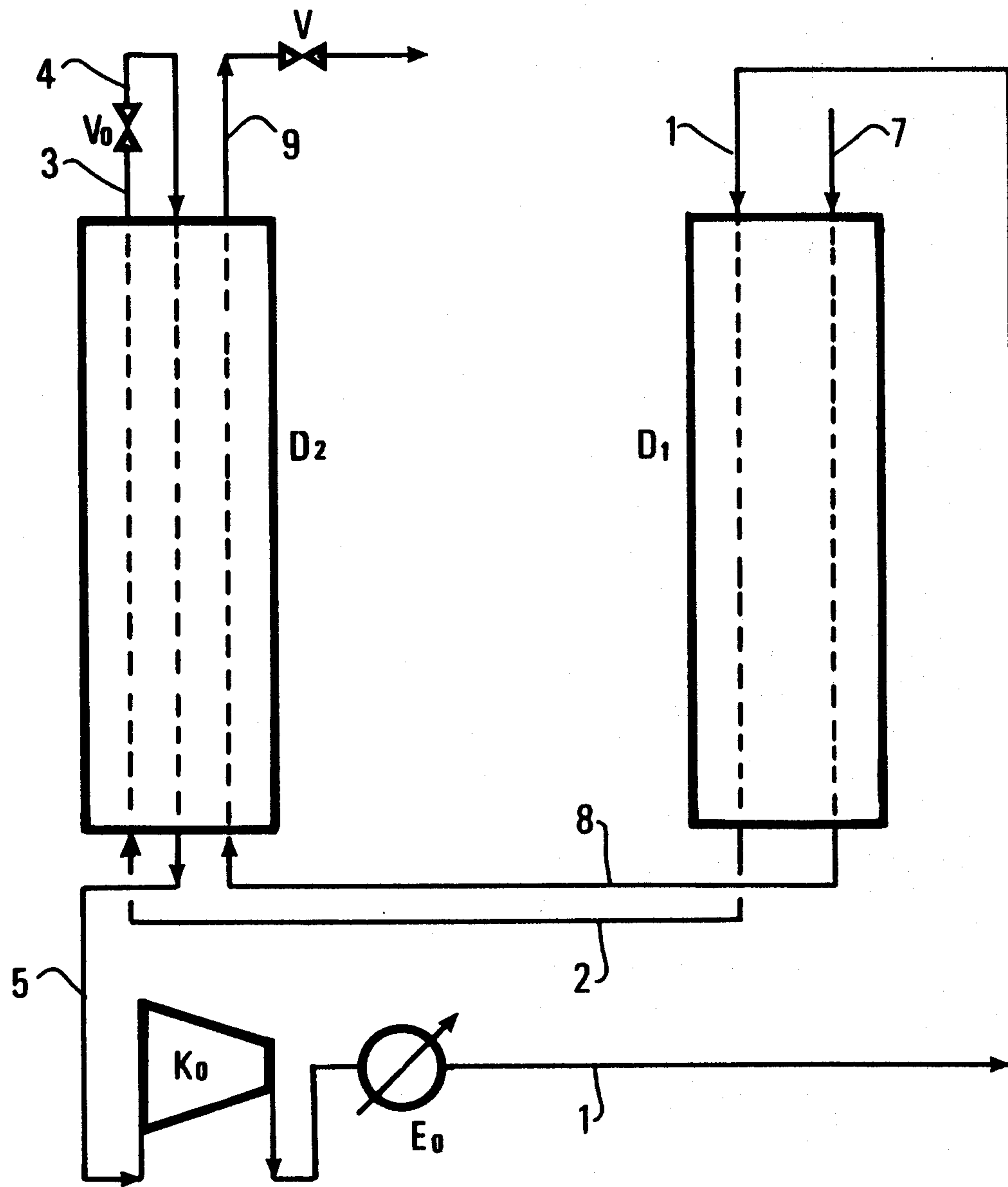
12. Dispositif de liquéfaction d'un fluide G formé au moins en partie d'un mélange d'hydrocarbures, caractérisé en ce qu'il comporte au moins une première zone D₁ de réfrigération adaptée pour opérer dans des conditions de température jusqu'à au moins - 40°C, pour obtenir en sortie un mélange réfrigérant monophasique condensé, et refroidir ledit fluide G jusqu'à au moins 40°C, ladite première zone de réfrigération communiquant avec au moins une seconde zone de réfrigération D₂ adaptée pour opérer jusqu'à une température
- 10 au moins inférieure à -160°C, à l'issue de laquelle ledit fluide G est réfrigéré jusqu'à une température sensiblement voisine de -160°C par vaporisation dudit mélange réfrigérant issu de ladite première zone D₁ de réfrigération, le mélange réfrigérant étant détendu par au moins deux vannes (V₄; V₅) à au moins deux niveaux de pression différents et au moins un moyen de détente (V₆) dudit fluide G réfrigéré issu de ladite seconde zone de réfrigération D₂.

13. Dispositif selon la revendication 12, adapté à liquéfier et à fractionner un fluide G, caractérisé en ce qu'au moins une desdites zones de réfrigération (D₁, D₂) comporte au moins un moyen de fractionnement dudit fluide G permettant d'obtenir une phase gazeuse enrichie en hydrocarbures
- 20 légers et une phase liquide enrichie en hydrocarbures lourds.

14. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 12 et 13, caractérisé en ce que lesdites zones de réfrigération (D₁, D₂) comportent, un ou plusieurs échangeurs de chaleur disposés en cascade.

15. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé en ce que le ou lesdits échangeurs de chaleur sont échangeurs à plaques en aluminium brasé et/ou des échangeurs à plaques en acier inoxydable.

FIG.2



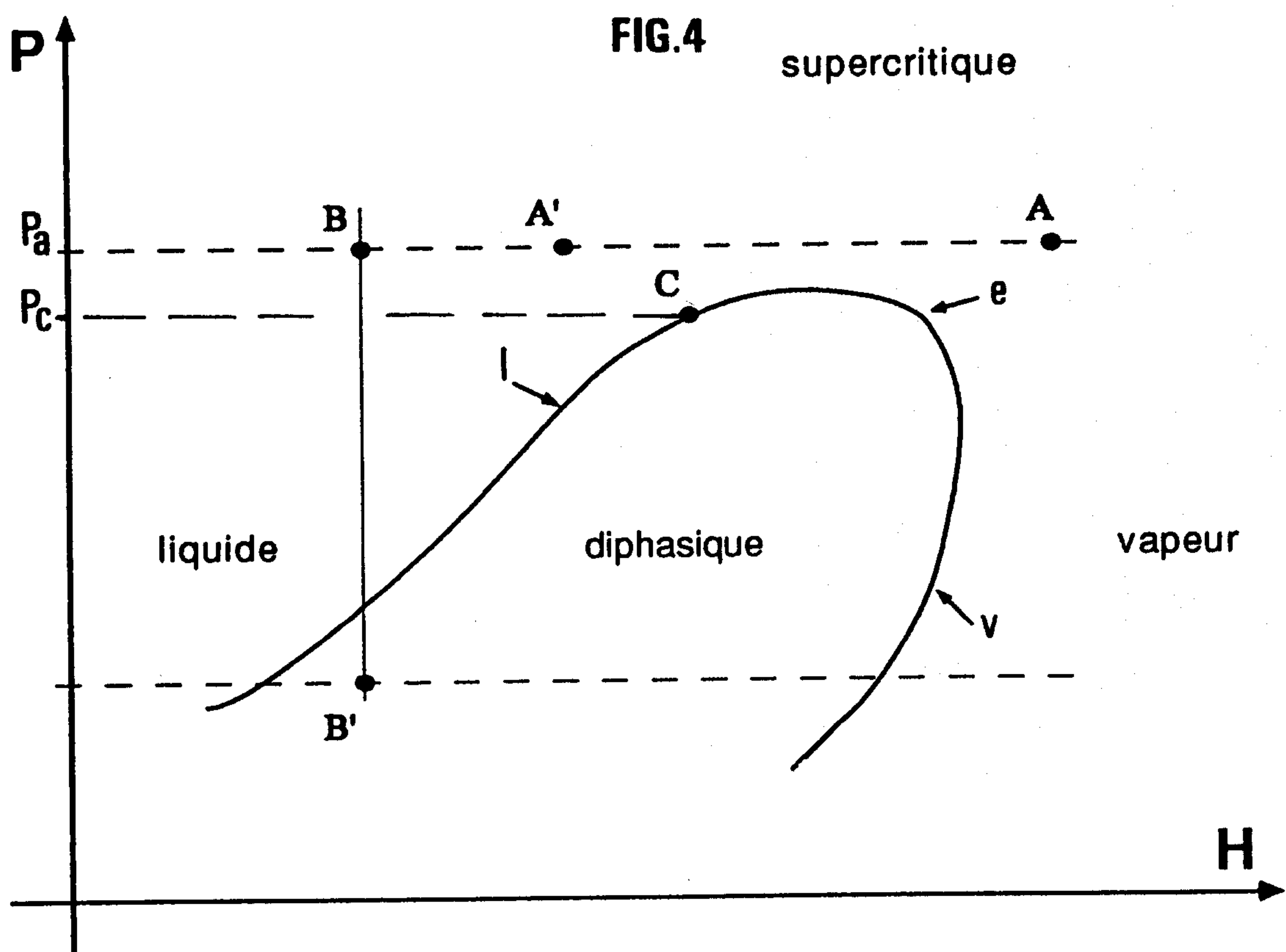
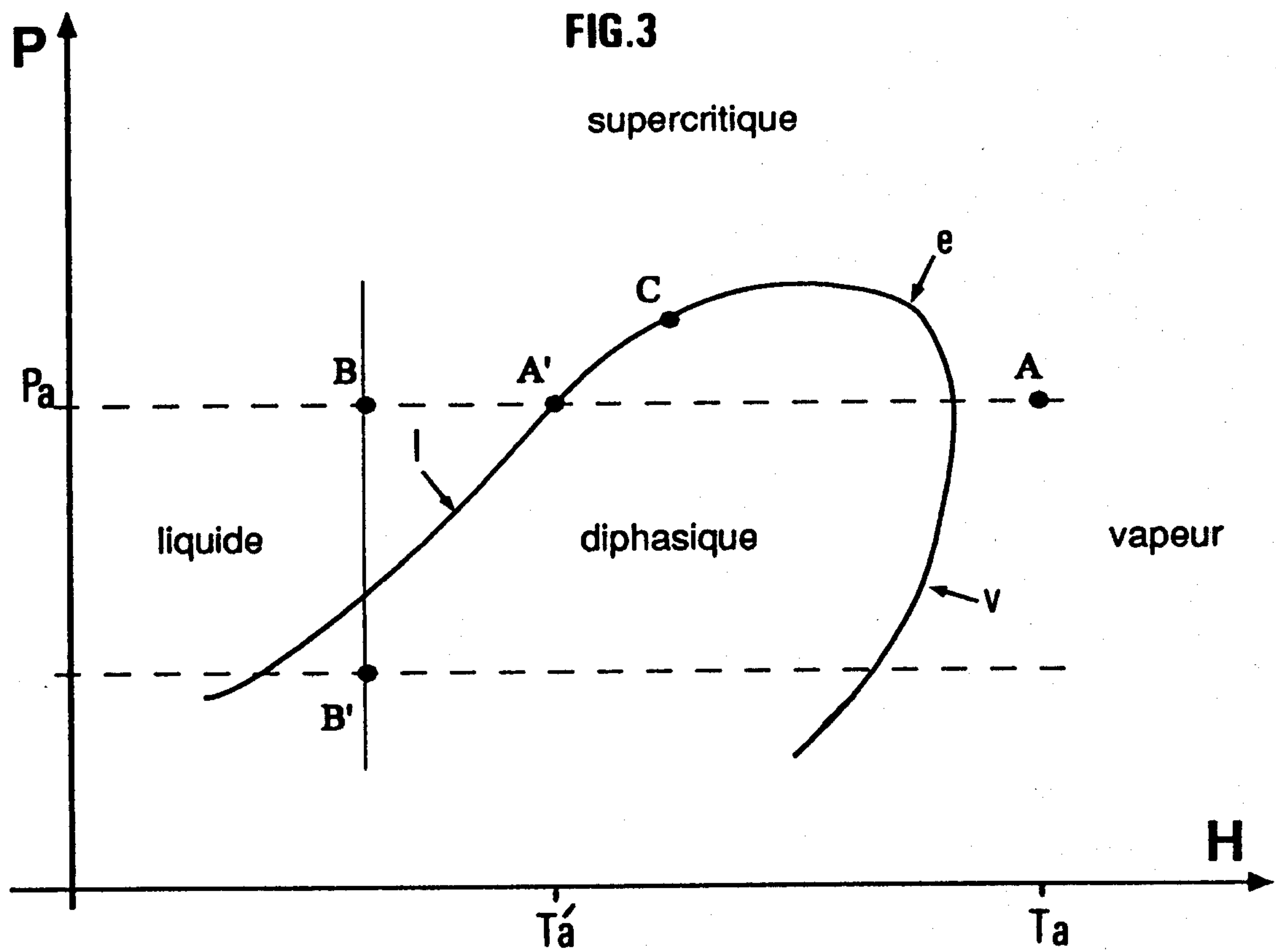


FIG. 5

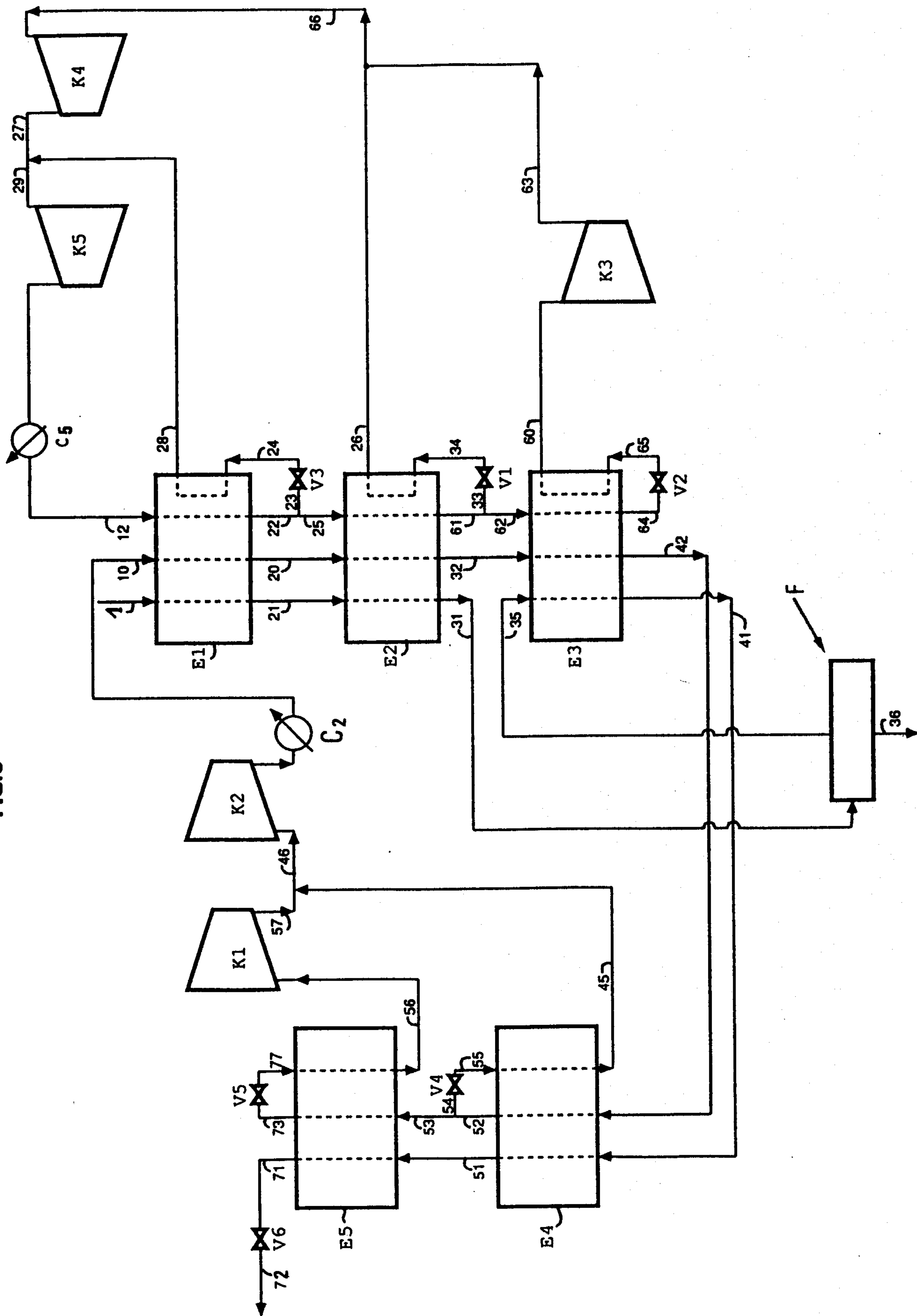
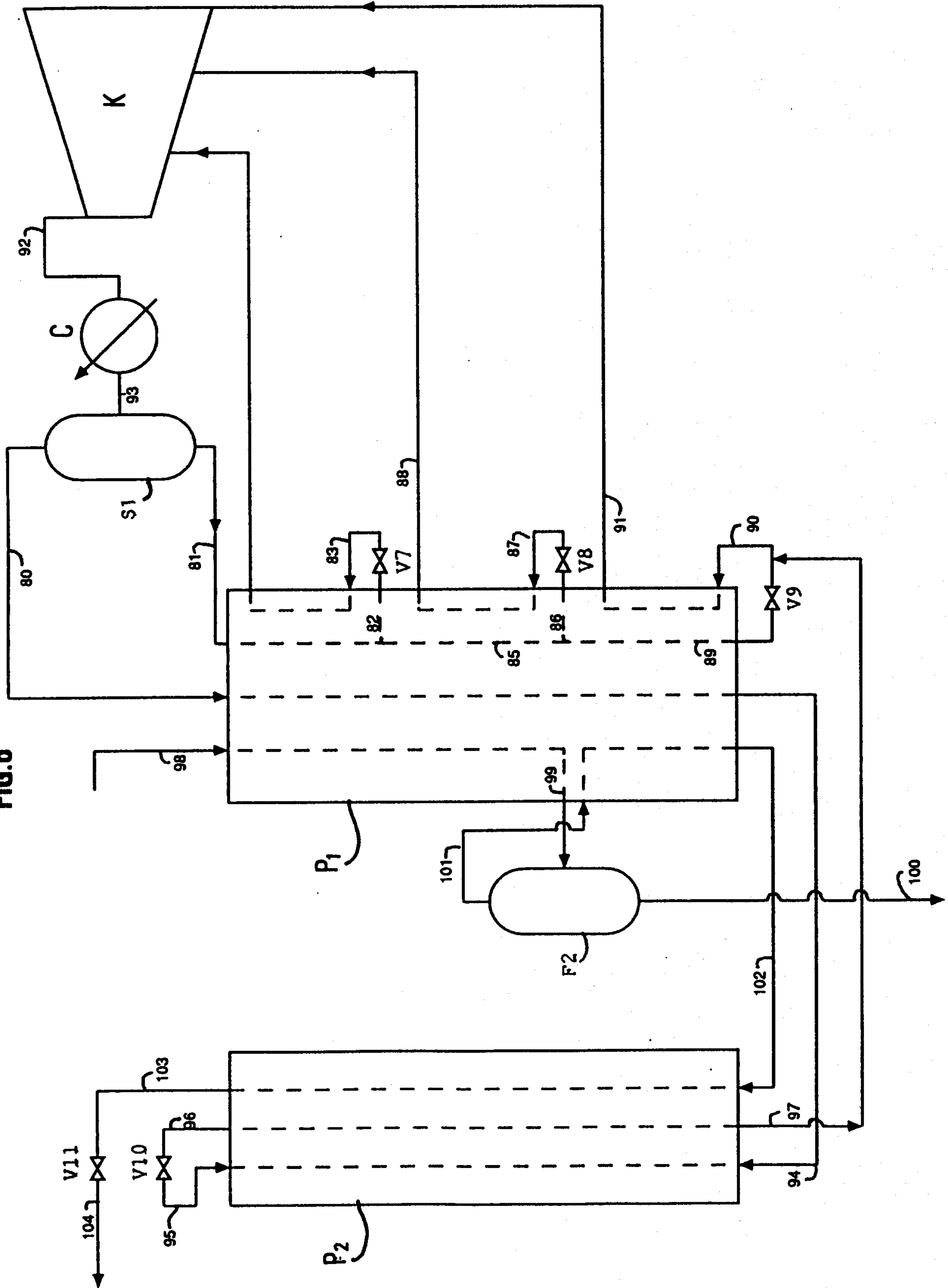


FIG. 6



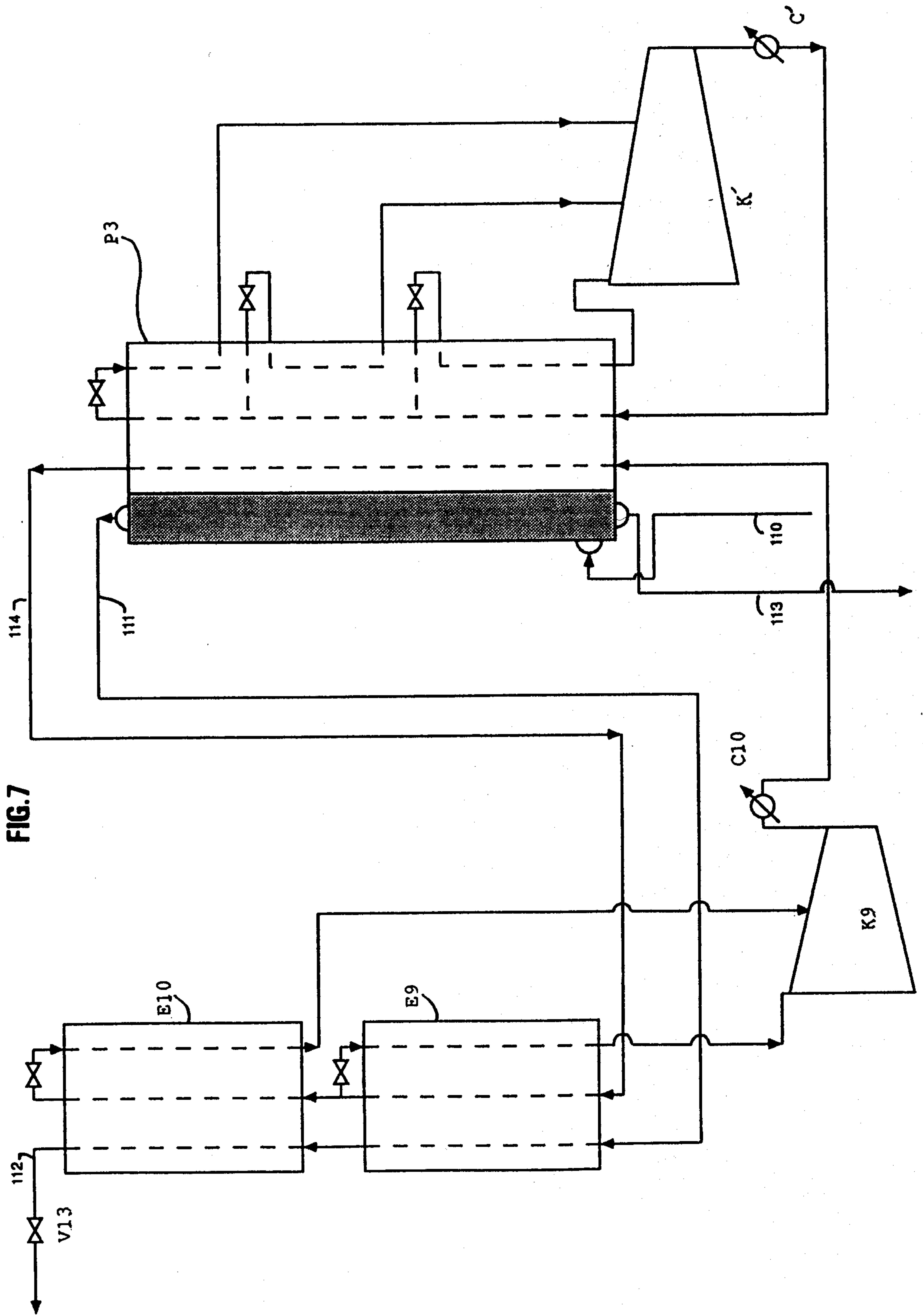


FIG. 7

