



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(21) Numéro de dépôt : **92402160.3**

(51) Int. Cl.⁵ : **F25J 1/02, F25B 9/10**

(22) Date de dépôt : **27.07.92**

(30) Priorité : **26.07.91 FR 9109482**

(43) Date de publication de la demande :
03.02.93 Bulletin 93/05

(84) Etats contractants désignés :
CH DE FR GB LI NL

(71) Demandeur : **L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES CLAUDE**
75, Quai d'Orsay
F-75321 Paris Cédex 07 (FR)

(72) Inventeur : **Gistau-Baguer, Guy**
Chemin de la Buisse
F-38330 Biviers (FR)

(74) Mandataire : **Le Moenner, Gabriel et al**
L'AIR LIQUIDE, Société Anonyme pour l'étude et l'exploitation des procédés Georges Claude
75, Quai d'Orsay
F-75321 Paris Cédex 07 (FR)

(54) **Circuit de compression d'un fluide gazeux à basse pression et à basse température.**

(57) Le circuit de compression d'un fluide gazeux, typiquement de l'hélium, contenu dans une première capacité (9) à une pression (P_2) inférieure à 20 hPa et une température (T_2) inférieure à 4,2 K, est comprimé par plusieurs compresseurs en série (11-15), au moins un échangeur de chaleur (16) étant intercalé dans la chaîne de compresseurs et refroidi par ledit fluide à une température (T_1) supérieure à la température du fluide dans la première capacité et provenant d'une seconde capacité de fluide (5), associée à un cycle de réfrigération.

Application notamment aux installations de refroidissement d'éléments supraconducteurs.

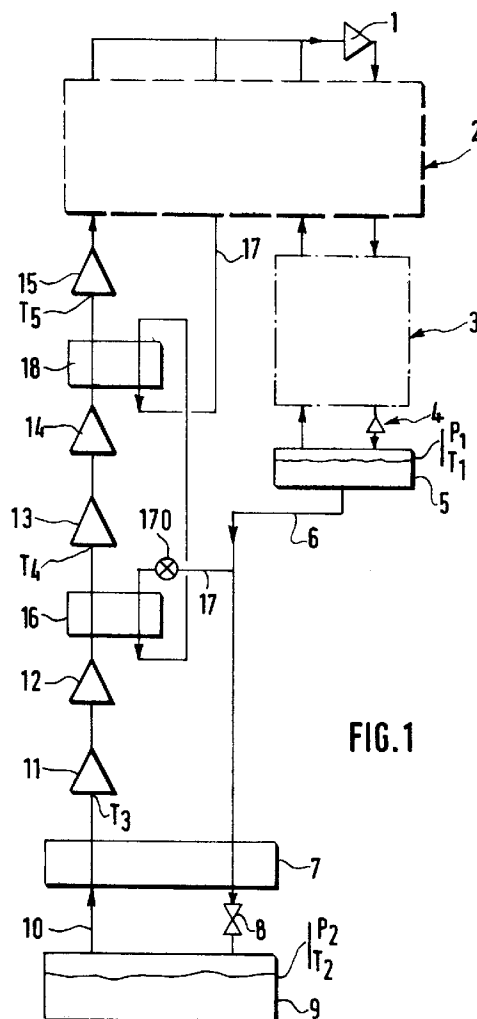


FIG.1

La présente invention concerne un circuit de compression d'un fluide gazeux à basse pression et basse température, notamment de l'hélium, à partir d'une première capacité contenant ledit fluide en phase gazeuse et en phase liquide à une première pression et une première température, le circuit comprenant, dans une ligne reliant la première capacité à un réchauffeur, au moins deux compresseurs en série, la première capacité étant alimentée par une seconde capacité contenant ledit fluide en phases gazeuse et liquide à une seconde pression et une seconde température supérieures aux premières pressions et températures, respectivement.

Dans certaines applications, notamment pour la réfrigération d'éléments supraconducteurs dans des accélérateurs de particules, on a besoin de disposer de fluide à des températures très basses, inférieures à 4,2 K, la pression du fluide, dans ces conditions, étant également très réduite, inférieure à 20 hPa. Pour réinjecter le fluide gazeux à cette pression très basse dans le cycle de réfrigération, il faut mettre en oeuvre au moins deux, dans la pratique plusieurs compresseurs cryogéniques en série, dans un agencement délicat à maîtriser en raison des instabilités pouvant apparaître dans la ligne.

La présente invention a pour objet de proposer un circuit de compression du type sus-mentionné offrant une stabilité de fonctionnement accrue, permettant d'optimiser les étages de compression et notamment d'en réduire la taille et la puissance et d'accroître l'efficacité globale de l'installation incorporant le circuit.

Pour ce faire, selon une caractéristique de l'invention, le circuit comprend, entre les deux compresseurs, au moins un premier échangeur refroidi par du fluide provenant de la seconde capacité.

Selon un aspect de l'invention, le premier échangeur est refroidi par la phase liquide provenant de la seconde capacité, en exploitant le fluide liquide bouillant à pression atmosphérique. Selon un autre aspect de l'invention, le premier échangeur est refroidi par la phase gazeuse provenant de la deuxième capacité en exploitant le fluide liquide bouillant à pression réduite.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description suivante de modes de réalisation, donnés à titre illustratif mais nullement limitatif, faite en relation avec les dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique d'une installation de réfrigération incorporant un premier mode de réalisation du circuit de compression selon l'invention ;
- la figure 2 est une vue analogue à la précédente illustrant un deuxième mode de réalisation de l'invention, et
- la figure 3 est une vue analogue aux précédentes illustrant un troisième mode de réalisation de l'invention.

Dans la description qui va suivre et sur les des-

sins, les éléments identiques ou analogues portent les mêmes chiffres de références, éventuellement indicés.

On reconnaît sur la figure 1 un cycle de réfrigération hélium comprenant un compresseur de cycle 1, un étage de pré-refroidissement 2, un étage de refroidissement 3 et un organe de détente final 4 délivrant dans une capacité 5 de l'hélium liquide à une pression P_1 de l'ordre de $1,2 \times 10^5$ Pa et une température T_1 d'environ 4,4 K. Une telle installation est décrite dans la demande de brevet français FR 90.13280, au nom de la Demanderesse, dont le contenu est supposé intégré ici pour référence. Le liquide dans la capacité 5 est extrait par une ligne 6 pour être refroidi dans un échangeur 7 et détendu dans un organe de détente 8, constitué par une vanne isenthalpique, une turbine ou un détendeur à piston, de façon à délivrer dans une capacité super-froide 9 de l'hélium fluide et gazeux à une température T_2 de l'ordre de 1,75 K et à une pression P_2 de l'ordre de 13 hPa. Le ciel gazeux dans la capacité 9 doit être recomprimé et réchauffé pour être recyclé vers le compresseur de cycle 1.

A cet effet, une ligne de compression 10 s'étend depuis la capacité 9 jusqu'à l'étage de pré-refroidissement 2 en traversant tout d'abord à contre-courant l'échangeur 7 et en passant dans une série de compresseurs cryogéniques 11 à 15, ici au nombre de cinq. Chaque compresseur a un taux de compression de l'ordre de 3 de façon à ramener la pression de gaz dans la ligne 10, en amont de l'étage de pré-refroidissement 2, à une valeur légèrement supérieure à la pression atmosphérique, de l'ordre de $1,2 \times 10^5$ Pa. La température T_3 du gaz en sortie de l'échangeur 7 et à l'entrée du premier étage du compresseur 11 est de l'ordre de 3,5 K et l'on comprend que toutes variations dans les conditions de pression et surtout de température à l'entrée de la chaîne de compression peuvent entraîner des instabilités de fonctionnement dans les étages aval, d'autant que chaque compression entraîne une légère augmentation de la température du gaz. La puissance de compression, donc la taille du compresseur, étant proportionnelle à la température de l'aspiration du compresseur et, pour un débit massique donné, le débit volumique, variant en raison inverse de la température, un refroidissement du gaz entre deux étages de compression présente des avantages notables sur l'optimisation de ces étages de compression et permet de restabiliser au moins une des températures d'entrée d'un inter-étage de compression, ce qui facilite grandement la gestion de la chaîne de compression.

A cet effet, selon l'invention, un premier échangeur 16 est disposé entre les deuxième et troisième compresseurs 12 et 13, cet échangeur étant refroidi par du liquide prélevé, par une canalisation 17, avantageusement pourvue d'un organe de réglage de débit 170, à partir de la ligne 6, c'est-à-dire à la température T_1 de 4,4 K. Dans le mode de réalisation repré-

senté, la conduite 17 est prolongée pour refroidir, par le gaz vaporisé sortant de l'échangeur 16 à une température de l'ordre de 10 K, un second échangeur 18 interposé entre les quatrième et cinquième compresseurs 14, 15, la conduite 17 étant prolongée pour recycler le gaz prélevé vers le compresseur de cycle 1 au travers de l'étage de pré-refroidissement 2. De cette façon, la température du gaz dans la ligne 10 à l'entrée du troisième compresseur 13 est ramenée et stabilisée à une température T_4 de l'ordre de 5 à 6 K et la température du gaz à l'entrée du cinquième compresseur 15 est ramenée et stabilisée à une température T_5 de l'ordre de 12 K.

Dans le mode de réalisation de la figure 2, le refroidissement inter-étages de la chaîne de compression est assuré par de l'hélium gazeux provenant d'une capacité additionnelle 5' où l'hélium bout à une pression réduite. Dans ce mode de réalisation, la canalisation 6 de prélèvement de l'hélium liquide dans la capacité 5 traverse un échangeur 19 pour délivrer, via un organe de détente 20, de l'hélium liquide et gazeux dans la capacité 5' à une pression P_6 d'environ $0,5 \times 10^5$ Pa et une température d'environ 3,5 K. L'hélium liquide dans la capacité 5' est prélevé par une canalisation 6' pour être acheminé, via l'échangeur 7 et l'organe de détente 8, comme dans le mode de réalisation précédent, dans la capacité 9 aux pressions et températures P_2 et T_2 .

Dans ce mode de réalisation, la température de l'hélium liquide dans la conduite 6' à l'entrée du bout chaud de l'échangeur 7 étant de 3,5 K au lieu de 4,4 K comme dans le mode de réalisation précédent, la température du gaz dans la ligne 10, à la sortie de cet échangeur 7 et à l'entrée du premier étage de compression 11 est ici à une température T'_3 de l'ordre de 2,5 K, ce qui permet de gagner 1 K en amont de la chaîne de compression et donc de gagner encore sur les performances mécaniques et thermodynamiques de la chaîne de compression. Comme dans le mode de réalisation précédent, un échangeur 16' est intercalé entre les deuxième (12) et troisième (13) étages de compression, cet échangeur 16' étant ici refroidi par du gaz prélevé dans la capacité 5' par une conduite 21 traversant tout d'abord l'échangeur 19, puis l'échangeur 16', de sorte que la température T'_4 du gaz à l'entrée du troisième étage de compression 13 soit ramenée et stabilisée à environ 5 K, la conduite 21 se prolongeant pour réinjecter le gaz réchauffé dans l'échangeur 16' en amont du compresseur aval 15 de façon à ramener et stabiliser la température d'admission du dernier étage 15 à une valeur T'_5 de l'ordre de 7 K.

Le mode de réalisation de la figure 3 inclut une combinaison de la variante pilotable exploitant le liquide bouillant à pression sensiblement atmosphérique de la figure 1 et la variante non pilotable mais à stabilité accrue exploitant le liquide bouillant à pression réduite de la figure 2. On reconnaît sur cette figure 3

les éléments des figures 1 et 2 conservant les mêmes chiffres de référence que sur ces dernières. Sur la figure 3, le premier échangeur est décomposé en au moins deux échangeurs 16', traversé par la conduite 21, et 16, en amont, traversé par les conduites 21 et 17 qui se raccorde, ici, à la ligne 10 en aval du dernier compresseur 15, les deux conduites 17 et 21 traversant en outre un troisième échangeur 22 avantageusement interposé entre les troisième et quatrième compresseurs 13 et 14.

Le mode de réalisation de la figure 3 comporte en outre, en vue de réduire encore la température d'aspiration du premier étage 11, dans la ligne 6' en aval de la première capacité additionnelle 5', une seconde capacité additionnelle 5'' associée, en amont, comme la première capacité additionnelle 5, à un échangeur 19' avec un organe de détente intermédiaire 20'. La capacité 5'' contient ainsi de l'hélium liquide et gazeux à une pression P_7 d'environ $0,15 \times 10^5$ Pa et une température d'environ 2,8 K. L'hélium liquide dans la capacité 5'' est prélevé par une canalisation 6'' pour être acheminé à l'échangeur 7 et à la capacité 9 aux pressions et températures P_2 et T_2 . L'hélium gazeux dans la capacité 5'' est acheminé par une conduite 21' vers les échangeurs 16' et 16, via un troisième premier échangeur 16'', puis vers la ligne 10, en amont du quatrième compresseur 14.

Dans cette variante, on peut utiliser, selon les besoins soit uniquement les circuits mettant en oeuvre les capacités additionnelles 5' et 5'', soit simultanément ces circuits et le circuit pilotable mettant en oeuvre la ligne d'hélium liquide 17, ce qui offre ainsi une grande latitude de plages de fonctionnements pour la ligne de compresseurs 10.

Quoique la présente invention ait été décrite en relation avec des modes de réalisation particuliers, elle ne s'en trouve pas limitée mais est au contraire susceptible de modifications et de variantes qui apparaîtront à l'homme de l'art. En particulier, selon les besoins et les matériels disponibles, on peut diminuer ou augmenter le nombre d'étages de compression et les échangeurs inter-étages.

Revendications

1. Circuit de compression d'un fluide gazeux à basse pression et basse température provenant d'une première capacité (9) contenant le fluide en phase liquide et en phase gazeuse à une première pression (P_2) et une première température (T_2), comprenant, dans une ligne (10) reliant la première capacité à un réchauffeur (2), au moins deux compresseurs en série (11-15), la première capacité (9) étant alimentée par une seconde capacité (5;5';5'') contenant le fluide en phase liquide et en phase gazeuse à une seconde pression (P_1 ; P_6 ; P_7) et une seconde température (T_1 ; T_6 ; T_7)

supérieures aux premières pression et température, caractérisé en ce qu'il comprend, entre les deux compresseurs, au moins un premier échangeur (16;16';16'') refroidi par du fluide provenant de la seconde capacité (5;5'; 5'').

5

2. Circuit selon la revendication 1, caractérisé en ce que le premier échangeur (16) est refroidi (6,17) par la phase liquide de la seconde capacité (5).

10

3. Circuit selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend au moins trois compresseurs et au moins un second échangeur (18) entre deux compresseurs aval (14,15), le second échangeur étant refroidi par la phase gazeuse issue du premier échangeur (16).

15

4. Circuit selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le premier échangeur (16';16'') est refroidi (21) par la phase gazeuse de la seconde capacité (5';5'').

20

5. Circuit selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'il comprend au moins trois compresseurs, la phase gazeuse provenant de la seconde capacité (5';5'') et réchauffée dans le premier échangeur (16') étant réinjectée en amont d'un compresseur aval (15;14).

25

6. Circuit selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la seconde capacité (5';5'') est alimentée par une troisième capacité (5;5').

30

7. Circuit selon la revendication 6, caractérisé en ce que le fluide en phase gazeuse dans la troisième capacité (5') refroidit au moins le premier échangeur (16'').

35

8. Circuit selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le fluide dans la première capacité (9) est de l'hélium à une pression (P_2) inférieure à 20 hPa et une température (T_2) inférieure à 4,2 K.

40

9. Circuit selon la revendication 2 et la revendication 8, caractérisé en ce que la seconde capacité (5) est la capacité d'un cycle de réfrigération hélium contenant de l'hélium liquide à une pression (P_1) d'environ $1,2 \times 10^5$ Pa et une température (T_1) d'environ 4,4 K.

45

50

10. Circuit selon la revendication 4 et la revendication 8, caractérisé en ce que la seconde capacité (5') contient de l'hélium liquide et gazeux à une pression (P_6) d'environ $0,5 \times 10^5$ Pa et une température (T_6) supérieure à 3 K.

55

11. Circuit selon la revendication 10, caractérisé en

ce que la seconde capacité (5') est alimentée par une capacité (5) d'un cycle de réfrigération hélium contenant de l'hélium liquide à une pression (P_1) d'environ $1,2 \times 10^5$ Pa et une température (T_1) d'environ 4,4 K.

12. Circuit selon l'une des revendications 8 à 11, caractérisé en ce que la première capacité (9) est alimentée en hélium liquide par la seconde capacité (5;5';5'') via un échangeur (7) et un organe de détente (8).

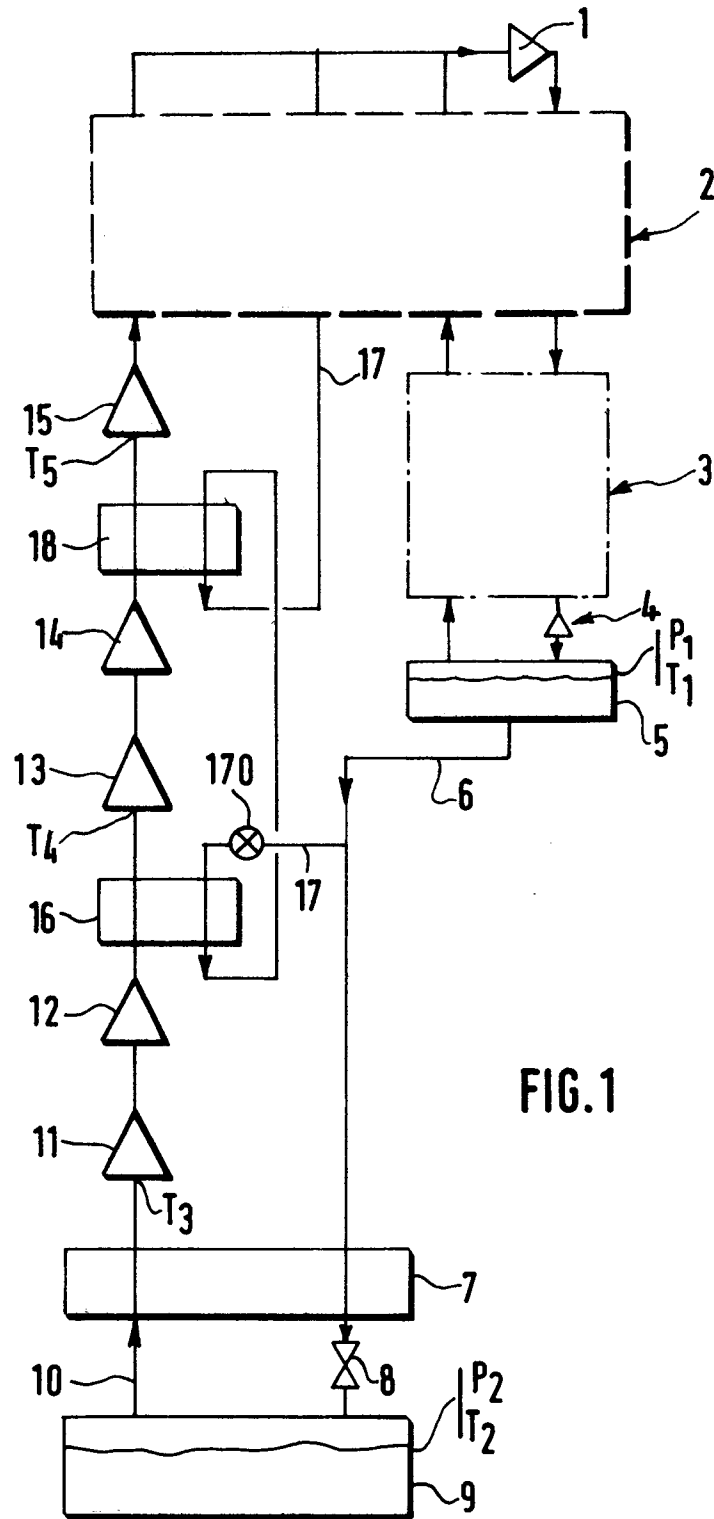


FIG.1

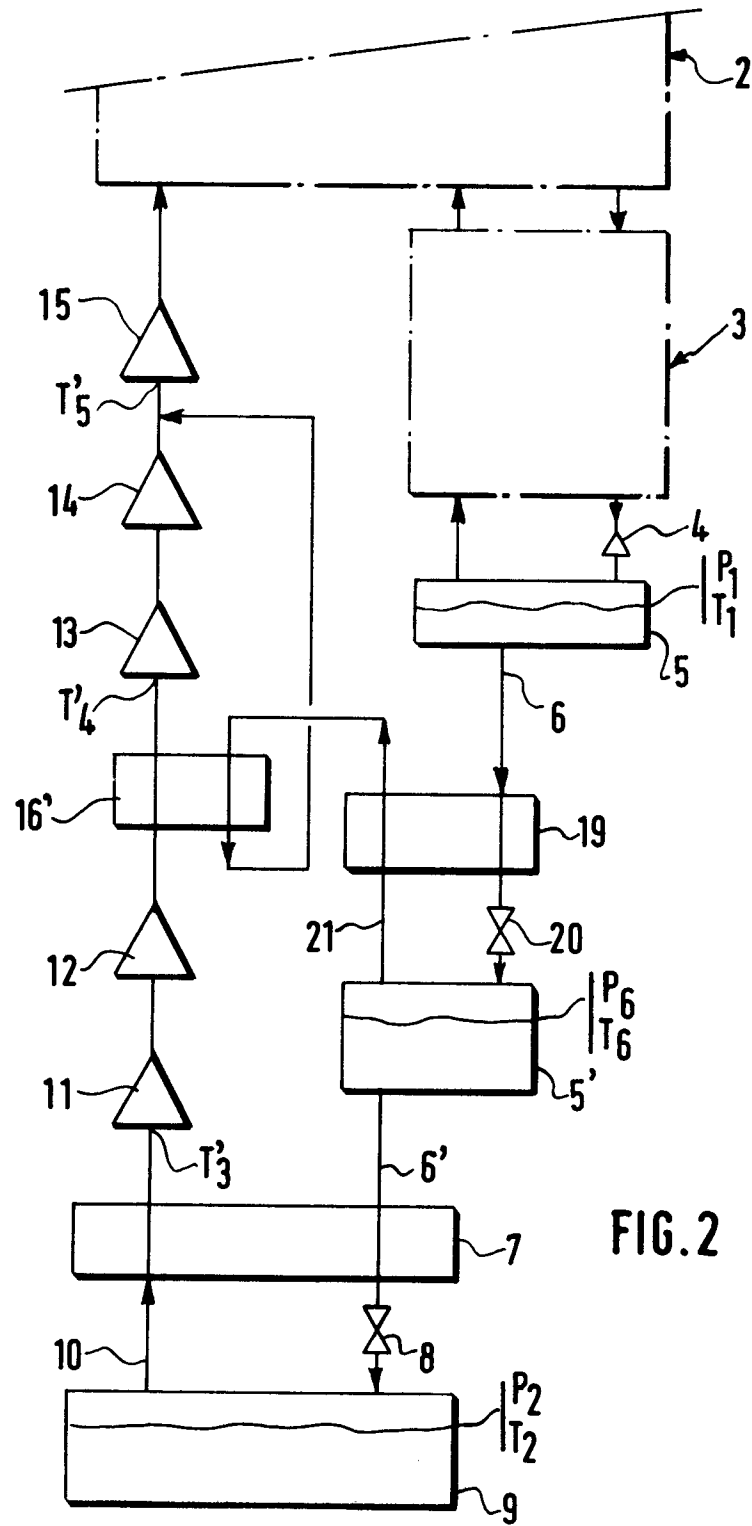


FIG. 2

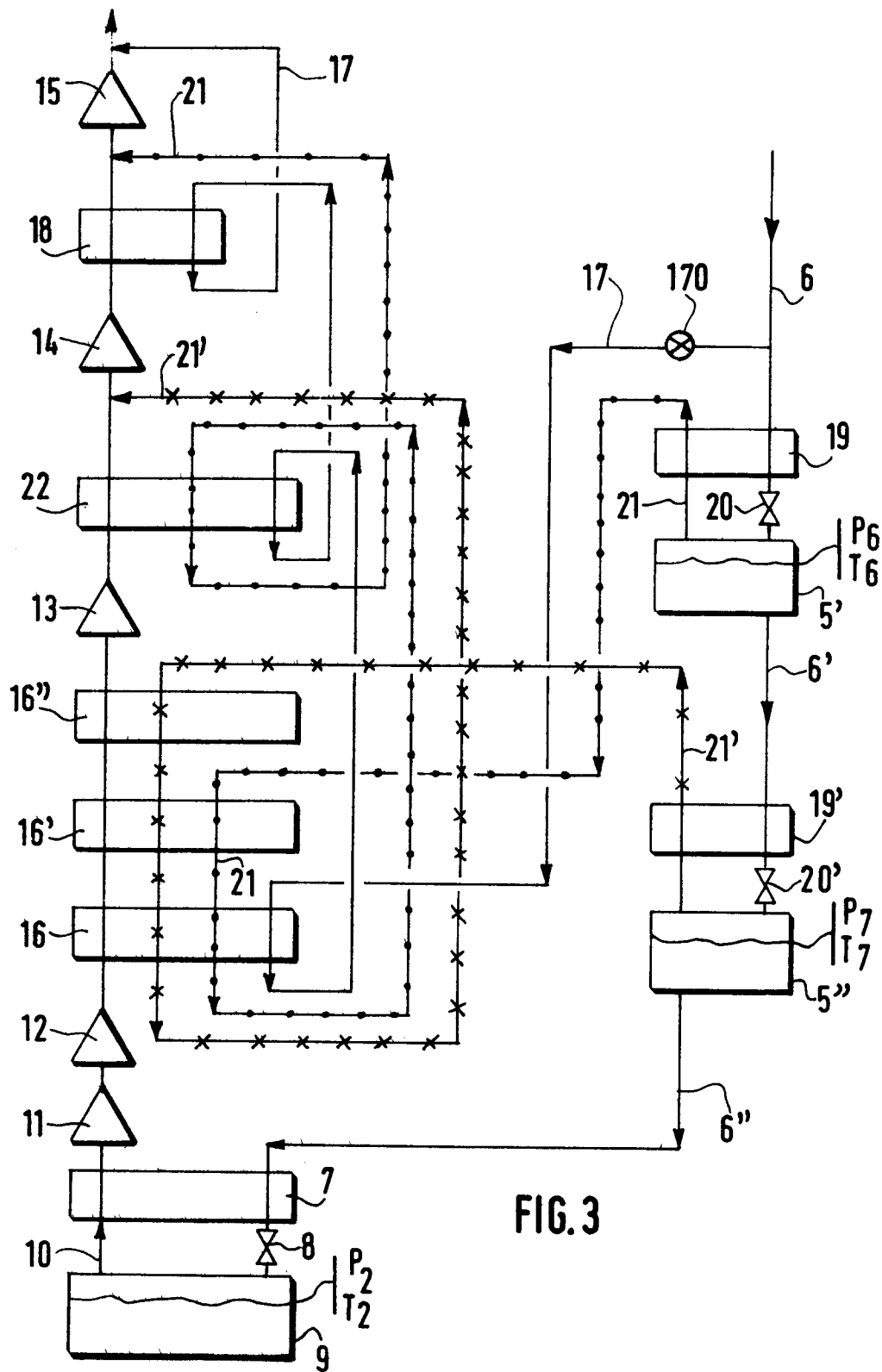


FIG. 3



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 92 40 2160

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.5)
A	US-A-3 092 976 (H.HASHEMI-TAFRESHI) * colonne 1, ligne 39 - ligne 63 * * colonne 2, ligne 17 - ligne 68 * ---	1, 4, 5	F25J1/02 F25B9/10
A	US-A-4 910 972 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) * abstract * * figure 2 * * colonne 2, ligne 36 - colonne 3, ligne 42 * -----	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
			F25J F25B
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 27 OCTOBRE 1992	Examineur SIEM T.D.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES 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 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			

EPO FORM 1503 03.92 (P0402)