

19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

11) N° de publication : **2 844 337**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

21) N° d'enregistrement national : **02 11085**

51) Int Cl<sup>7</sup> : F 17 C 13/00, F 17 C 1/12, B 63 B 25/12, 27/24

12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 06.09.02.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 12.03.04 Bulletin 04/11.

56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71) Demandeur(s) : INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE  
— FR.

72) Inventeur(s) : ROJEY ALEXANDRE, FALCIMAIGNE  
JEAN et GUESNON JEAN.

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) :

54) SYSTEME ET PROCEDE DE TRANSPORT DE GAZ NATUREL COMPRI ME.

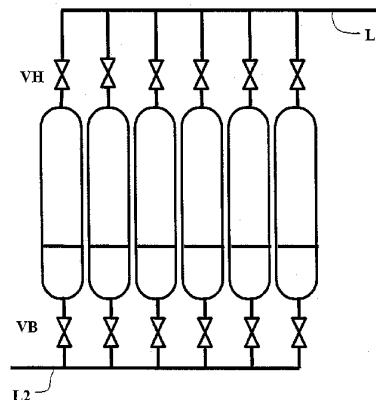
57) La présente invention concerne un procédé de transport de gaz naturel sous pression, dans lequel on effectue les étapes suivantes:

- on connecte une pluralité de réservoirs comportant un orifice inférieur et un orifice supérieur en reliant à une première conduite L1 tous les orifices supérieurs et à une deuxième conduite L2 tous les orifices inférieurs,

- on remplit lesdits réservoirs de gaz naturel dans des conditions de pression et de température déterminées pour que le gaz naturel soit sous forme de deux phases: liquide et vapeur,

- on transfère la phase vapeur par les orifices supérieurs des réservoirs, et on transfère la phase liquide par les orifices inférieurs des réservoirs.

L'invention concerne également un système de transport.



FR 2 844 337 - A1



5           La présente invention concerne un système de transport maritime de gaz naturel sous forme comprimée. Le système comprend un ensemble de réservoirs, des moyens de chargement et de déchargement, ou d'introduction et d'évacuation, du gaz comprimé. L'invention concerne aussi un procédé de transport et de chargement et de déchargement du gaz comprimé. L'ensemble des réservoirs peut être rassemblé sur un navire, un train, un  
10 camion.

          Actuellement, on connaît plusieurs moyens pour transporter du gaz: par gazoduc lorsque la situation géographique le permet, sous forme liquéfiée à l'aide de navires de types méthaniers, sous forme comprimée, par exemple selon le document US-6339996. Cependant, ce système n'est adapté qu'au transport de gaz comprimé à des pressions  
15 élevées, de l'ordre de 20 MPa, ce qui le rend relativement coûteux industriellement.

Ainsi, l'invention concerne un procédé de transport de gaz naturel sous pression, dans lequel on effectue les étapes suivantes:

- on connecte une pluralité de réservoirs comportant un orifice inférieur et un orifice supérieur en reliant à une première conduite tous les orifices supérieurs et à une  
20 deuxième conduite tous les orifices inférieurs,

- on remplit les réservoirs de gaz naturel sous une pression inférieure au cricondenbar du gaz et à une température inférieure à celle du milieu ambiant, les pression et température étant déterminées pour que le gaz naturel soit sous forme de deux phases: liquide et vapeur,

- on transfère la phase vapeur transportée par les orifices supérieurs des réservoirs,  
on transfère la phase liquide transportée par les orifices inférieurs des réservoirs.

Selon le procédé, le gaz peut être stocké sous une pression comprise entre 5 et 15 MPa.

5 La température du gaz naturel stocké dans lesdits réservoirs est maintenue entre +10 et -50°C.

On peut vider les réservoirs du liquide en le remplaçant par un gaz d'inertage.

Le transfert de la phase vapeur peut s'effectuer sensiblement à pression constante.

L'invention concerne aussi un système de transport de gaz naturel sous pression,  
10 qui comporte:

- une pluralité de réservoirs comportant un orifice inférieur et un orifice supérieur connectés à une première conduite par tous les orifices supérieurs et à une deuxième conduite par tous les orifices inférieurs,

- des moyens de remplissage et/ou de vidange des réservoirs par du gaz  
15 naturel par la première conduite, des moyens de remplissage et/ou de vidange partiel des réservoirs par une phase liquide par la deuxième conduite,

- des moyens de maintien de la pression du gaz à une pression inférieure au cricondenbar du gaz,

- des moyens de maintien de la température du gaz entre 10°C et -50°C.

20 Les réservoirs peuvent être groupés en sous-ensemble relié à la première conduite et à la deuxième conduite.

Chaque sous-ensemble peut être placé dans une enveloppe externe.

L'enveloppe peut être remplie d'un matériau isolant thermique.

L'enveloppe peut être remplie d'un gaz d'inertage, par exemple de l'azote ou du dioxyde de carbone, par inertage, il faut comprendre un gaz non combustible avec le gaz naturel, et/ou dans l'air.

Un détecteur de méthane peut être placé sur un courant de fuite du gaz d'inertage.

5

Le système de transport selon l'invention est particulièrement bien adapté au transport de gaz naturel associé à une production d'hydrocarbures liquides, contenant une proportion significative d'hydrocarbures plus lourds que le méthane. Il permet en effet de transporter simultanément le méthane, ainsi que les fractions plus lourdes, que contient  
10 généralement le gaz associé, à des pressions sensiblement plus basses que celles qui sont considérées pour les systèmes de transport conventionnels. Pour ces mélanges, tels les gaz associés, la pression maximale à laquelle deux phases, liquide et gaz, peuvent coexister, est le cricondenbar du mélange considéré. Cette pression du cricondenbar est en général beaucoup plus élevée que la pression critique du méthane (46 bars). Le cricondenbar d'un  
15 mélange, tel qu'un gaz associé, peut être compris par exemple entre 10 et 20 MPa. Le transport d'un tel mélange sous une seule phase, dans une gamme assez large de température, impose une pression élevée, de l'ordre de 20 MPa, ou au dessus. La possibilité de réduire sensiblement la pression permet d'utiliser des enceintes de stockage plus légères et moins coûteuses autorisant une augmentation de la capacité de transport.

20

La présente invention sera mieux comprise et ses avantages apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'exemples de réalisation, nullement limitatifs, illustrée par les figures ci-après annexées parmi lesquelles:

- la figure 1 montre schématiquement un ensemble de réservoirs de transport de gaz naturel selon l'invention,

- les figures 2a, 2b, 2c illustrent des modes de disposition des réservoirs en sous-ensembles,

5 - la figure 3 donne la courbe d'équilibre des phases pour un gaz en exemple,

- la figure 4 illustre la méthode de chargement et déchargement par déplacement du gaz par une phase liquide.

La présente invention concerne un système de transport de gaz naturel, traité ou  
10 non traité, comprenant en association :

- un ensemble de réservoirs cylindriques connectés en parallèle pour constituer un volume de transport du gaz naturel en mélange diphasique;

- des moyens d'isolation et/ou de réfrigération permettant de maintenir la température du gaz transporté entre +10°C et -50 °C;

15 - un dispositif de chargement et de déchargement du gaz naturel dans le volume de transport, basé sur le déplacement de la phase liquide permettant de maintenir le gaz à une pression constante, ou quasi-constante, au cours des opérations de remplissage et/ou de vidange des réservoirs tout en évitant les mélanges entre le gaz naturel et un gaz de substitution lorsque les réservoirs sont vides, par exemple un gaz d'inertage;

20 - un navire, ou autre moyen de transport: wagon, camion,...qui rassemble les réservoirs.

La figure 1 représente un ensemble de réservoirs en parallèle, qui sont connectés à leurs extrémités hautes à une première ligne de transfert L1 et à leurs extrémités basses à

une deuxième ligne de transfert L2. Chaque réservoir peut communiquer ou non par chacune de ses extrémités aux lignes de transfert L1 et L2, selon que des vannes VH et VB sont ouvertes ou fermées.

Les conditions de stockage du gaz naturel transporté dans les réservoirs peuvent être choisis de façon à:

- obtenir le meilleur rapport coût/masse de gaz transporté (ou meilleur rapport poids de gaz transporté/poids des réservoirs);
- se situer à une pression inférieure au cricondenbar du mélange, et de préférence comprise entre 5 et 15 MPa;
- 10 - se situer à une température comprise entre +10 et -50°C.

Les réservoirs de gaz sous pression sont avantageusement groupés en sous-ensembles de réservoirs. Une telle disposition permet notamment de simplifier le réseau des lignes d'alimentation et de soutirage et de réduire éventuellement le nombre de vannes de connexion.

15 Les figures 2a et 2b illustrent la façon de grouper quatre bouteilles cylindriques. La figure 2a représente une vue de côté et la figure 2b une vue de dessus. Les quatre bouteilles cylindriques sont reliées à une conduite unique en tête 1 et en fond 2. Cette disposition permet notamment de supprimer les huit vannes VB et VH qui seraient nécessaires si toutes les bouteilles étaient reliées aux conduites d'alimentation et de soutirage de manière  
20 indépendante. Ce sous-ensemble peut être isolé par deux vannes, une en tête et une en fond.

Chaque sous ensemble de réservoirs est avantageusement placé dans une enceinte CR qui permet de l'isoler thermiquement, ainsi que de le protéger et de le positionner dans

la cuve du navire. Cette enceinte CR peut être remplie d'un matériau isolant, tel que par exemple de la perlite, silicate, mousse de polyuréthane, pour favoriser le maintien de la température requise dans les réservoirs. Il est également possible "d'inertiser" chacune de ces enceintes (de mettre son espace intérieur sous atmosphère inerte ne permettant pas la combustion ou les réactions explosives), en la remplissant d'azote, ou d'un autre gaz inerte vis à vis du gaz naturel, tel que par exemple le dioxyde de carbone. Ceci permet également de contrôler l'étanchéité des réservoirs, en contrôlant la composition du gaz d'inertage et en surveillant une trace éventuelle de méthane dans ce gaz.

Il est également possible de réaliser des sous-ensembles comportant un nombre plus important de réservoirs. La figure 2c représente une vue en plan d'un groupement de sept bouteilles cylindriques, placées dans une enceinte de section hexagonale. Le nombre de réservoirs peut être encore plus important et comporter plusieurs dizaines de réservoirs. Pour réaliser de tels ensembles, les dispositions les plus compactes sont privilégiées de façon à optimiser notablement la densité de stockage. Pour arriver à une compacité maximale, il est également possible d'associer des bouteilles de diamètres et/ou de sections différents.

Le procédé de transport selon l'invention permet d'améliorer sensiblement la capacité de stockage pour des conditions de pression donnée, et ainsi de pouvoir réduire sensiblement cette pression de transport, tout en gardant une capacité de stockage élevée.

Ceci est illustré par l'exemple numérique suivant:

Exemple numérique:

La composition d'un gaz naturel associé transporté est la suivante (en moles %):

azote:        0,10

	méthane:	76,60
	éthane:	2,75
	propane:	7,85
	butane:	2,25
5	C <sub>5+</sub> :	0,45

Si ce gaz naturel est transporté sous pression dans un état monophasique gazeux, à 200 bars et 30°C, on obtient une densité de stockage de 246 kg/m<sup>3</sup>.

En utilisant le procédé de transport selon l'invention, le même gaz peut être transporté sous forme de deux phases: liquide et vapeur. En se référant à la figure 3 qui  
10 représente le diagramme des phases en fonction de la pression et de la température du gaz associé en exemple, le cricondenbar est référencé en P, et le cricondentherm en T, les points de saturation ("dew point") en D et le point critique C.

A une pression de 70 bars et à -40°C, la fraction molaire en phase liquide est de 0,58. La phase liquide a une masse spécifique de 443 kg/m<sup>3</sup> et la phase gazeuse une masse  
15 spécifique de 128 kg/m<sup>3</sup>. Le mélange des deux phases permet de réaliser une densité des stockage de 236 kg/m<sup>3</sup>. La densité de stockage est donc voisine de la densité de stockage obtenue à 20 MPa, et cela pour une pression environ trois fois plus faible. Il en résulte la possibilité, pour une même quantité de gaz transporté, de réduire considérablement le poids et le coût des réservoirs. La maintien du gaz naturel à une température d'environ  
20 -40°C est résolu par une isolation thermique des réservoirs.

Les opérations de chargement et de déchargement sont basées sur le déplacement de la phase liquide en permettant de maintenir le gaz naturel à une pression constante, ou quasi-constante, et d'éviter aussi le mélange de grandes quantités de gaz naturel et du gaz

de remplissage lorsque les réservoirs sont vides, par exemple un gaz inerte comme de l'azote ou un gaz de combustion ne contenant quasiment plus d'oxygène.

Dans le système proposé, les réservoirs peuvent être chargés ou déchargés soit en tête, soit en fond. Les fractions gazeuses sont transférées en tête et les fractions liquides sont transférées en fond. L'utilisation des réservoirs en position verticale se prête bien au mode de chargement/déchargement proposé. La figure 4 permet de montrer les séquences de chargement ou de déchargement.

Avant chargement de gaz naturel, au terminal d'expédition, les réservoirs contiennent du gaz à basse pression (éventuellement du gaz d'inertage) et la phase liquide est à son niveau bas NB. La phase liquide utilisée peut être de préférence une phase hydrocarbure de type gazoline (huile légère) pouvant être extraite du gaz associé.

Dans une première phase de chargement, illustrée par la figure 4, du liquide arrivant par la ligne L2 est pompé dans les réservoirs (vannes VH fermées et vannes VB ouvertes), de façon à remettre les réservoirs en pression. A la fin de cette phase, le niveau liquide a atteint le niveau haut NH.

Dans une deuxième phase du chargement, le gaz naturel arrivant par la ligne L1 est transvasé à pression constante (vannes VH et VB ouvertes). Le liquide est évacué progressivement jusqu'au niveau intermédiaire NI qui correspond aux conditions de transport. En fonction de la fraction liquide transportée, l'excédent de liquide utilisé pour pressuriser les réservoirs est ramené vers une capacité de stockage.

Pendant le transport les vannes VB et VH sont fermées, le niveau de la phase liquide correspondant à la proportion de phase liquide transportée.

A l'arrivée au terminal de réception, dans une première phase de déchargement, le gaz est évacué par la ligne L1 et transvasé à pression constante (vannes VB et VH ouvertes), par le pompage du liquide arrivant par la ligne L2 de façon à compenser le volume de gaz évacué. Lorsque les réservoirs ont été vidés en gaz, le liquide est évacué, 5 vannes VB ouvertes et vannes VH fermées. La pression en phase gazeuse baisse, jusqu'à un niveau résiduel d'au moins environ 0,3 à 0,4 MPa, suffisant pour évacuer la phase liquide. La baisse de pression peut entraîner l'apparition d'une phase liquide par condensation rétrograde. Cette phase liquide est alors aussi évacuée par la ligne L2. Dans certains cas, compte tenu de la quantité de gaz en dissolution dans la phase liquide, la 10 pression résiduelle peut demeurer trop élevée, à l'issue de l'opération et il peut être nécessaire dans ce cas de pressuriser les réservoirs avec une fraction liquide stabilisée, c'est à dire une fraction liquide dont la tension de vapeur est réduite, pour transférer la fraction gazeuse demeurant dans les réservoirs et évacuer ensuite la phase liquide stabilisée utilisée pour déplacer le gaz dans une capacité de stockage, de manière à pouvoir l'utiliser lors 15 d'opérations de déchargement ultérieures. De l'azote, du CO<sub>2</sub>, ou un gaz résultant de combustion peuvent être envoyés si nécessaire dans les réservoirs pour inerte la charge gazeuse et renforcer les conditions de sécurité pendant le trajet de retour.

Les deux phases sont ainsi chargées et déchargées séparément, la phase gazeuse étant chargée et déchargée par la ligne L1, tandis que la phase liquide est chargée et 20 déchargée par la ligne L2.

Dans une variante, les réservoirs peuvent comporter une membrane imperméable, ou un piston, entre le gaz et le fluide de façon à les séparer physiquement.

L'invention n'est pas limitée à des réservoirs de forme allongée disposés de façon verticale. En effet, l'invention porte sur tous les réservoirs ayant un accès inférieur pour vidanger le liquide et un accès supérieur pour la phase gazeuse. La forme des réservoirs peut donc être variable.

- 5 On peut utiliser des réservoirs métalliques conventionnels ou des enveloppes, métalliques ou plastiques, renforcées par frettage.

## REVENDICATIONS

- 1) Procédé de transport de gaz naturel sous pression, caractérisé en ce que l'on effectue les  
5 étapes suivantes:
- on connecte une pluralité de réservoirs comportant un orifice inférieur et un orifice supérieur en reliant à une première conduite tous les orifices supérieurs et à une deuxième conduite tous les orifices inférieurs,
  - on remplit lesdits réservoirs de gaz naturel sous une pression inférieure au  
10 cricondenbar dudit gaz et à une température inférieure à celle du milieu ambiant, lesdites pression et température étant déterminées pour que ledit gaz naturel soit sous forme de deux phases: liquide et vapeur,
  - on transfère la phase vapeur transportée par les orifices supérieurs desdits réservoirs,
  - 15 - on transfère la phase liquide transportée par les orifices inférieurs desdits réservoirs.
- 2) Procédé selon la revendication 1, dans lequel ledit gaz est stocké sous une pression comprise entre 5 et 15 MPa.
- 3) Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel la température du gaz  
20 naturel stocké dans lesdits réservoirs est maintenue entre +10 et -50°C.
- 4) Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel on vide lesdits réservoirs du liquide en le remplaçant par un gaz d'inertage.

- 5) Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel le transfert de la phase vapeur s'effectue sensiblement à pression constante.
- 6) Système de transport de gaz naturel sous pression, caractérisé en ce qu'il comporte:
- une pluralité de réservoirs comportant un orifice inférieur et un orifice supérieur connectés à une première conduite par tous les orifices supérieurs et à une deuxième conduite par tous les orifices inférieurs,
  - des moyens de remplissage et/ou de vidange des réservoirs par du gaz naturel par la première conduite, des moyens de remplissage et/ou de vidange partiel des réservoirs par une phase liquide par la deuxième conduite,
  - des moyens de maintien de la pression dudit gaz à une pression inférieure au cricondenbar du gaz,
  - des moyens de maintien de la température du gaz entre 10°C et -50°C.
- 7) Système selon la revendication 6, dans lequel lesdits réservoirs sont groupés en sous-ensemble relié à ladite première conduite et à ladite deuxième conduite.
- 8) Système selon la revendication 7, dans lequel chaque sous-ensemble est placé dans une enveloppe externe.
- 9) Système selon la revendication 8, dans lequel ladite enveloppe est remplie d'un matériau isolant thermique.
- 10) Système selon l'une des revendications 8 ou 9, dans lequel ladite enveloppe est remplie d'un gaz d'inertage, par exemple de l'azote ou du dioxyde de carbone.
- 11) Système selon la revendication 10, dans lequel un détecteur de méthane est placé sur un courant de fuite du gaz d'inertage.

FIG.1

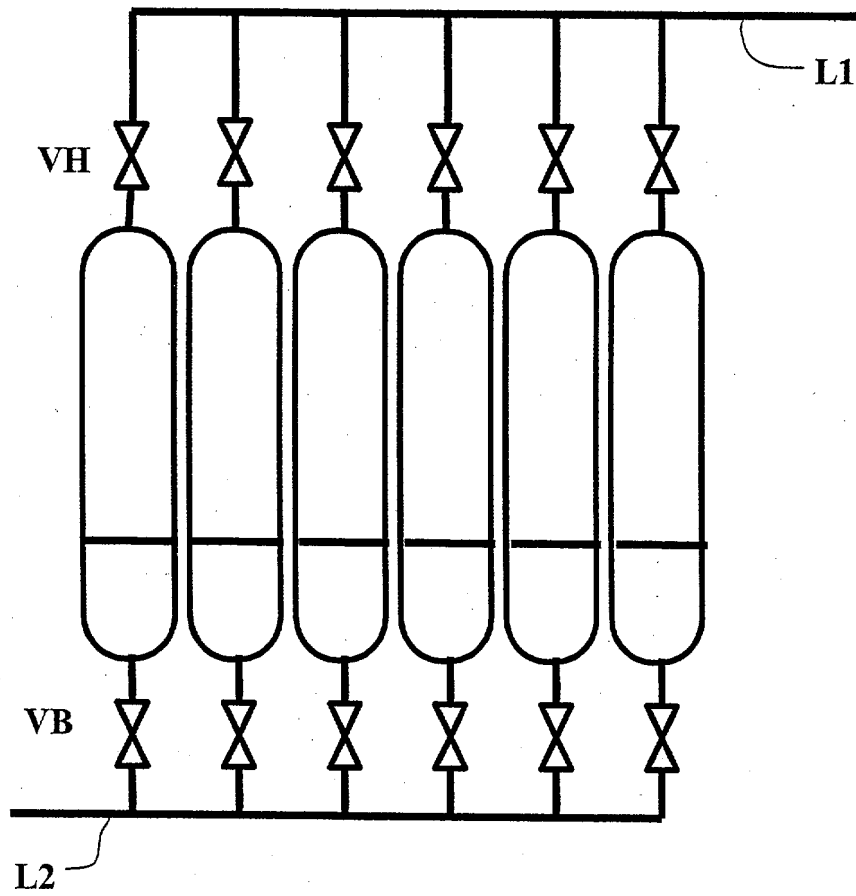


FIG.2A

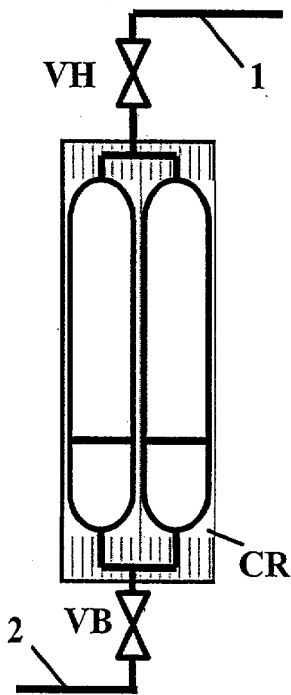


FIG.2B

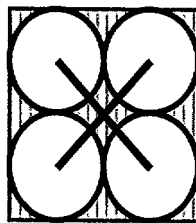
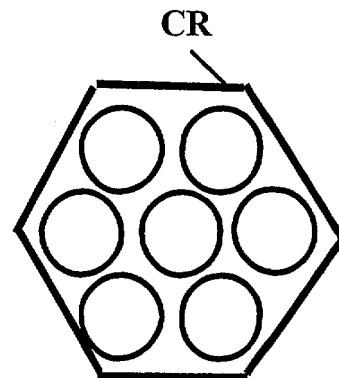


FIG.2C



2/3

FIG.3

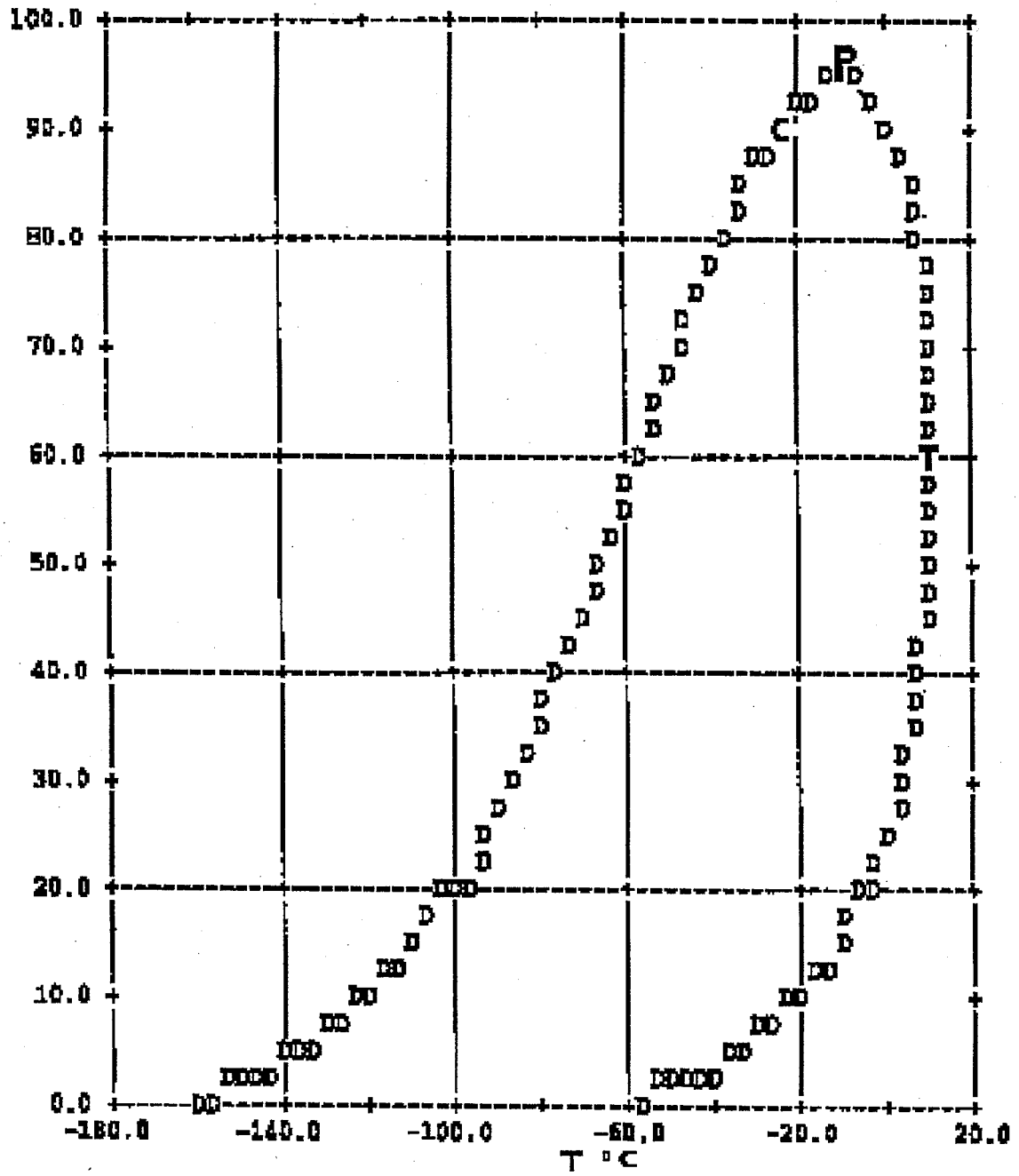
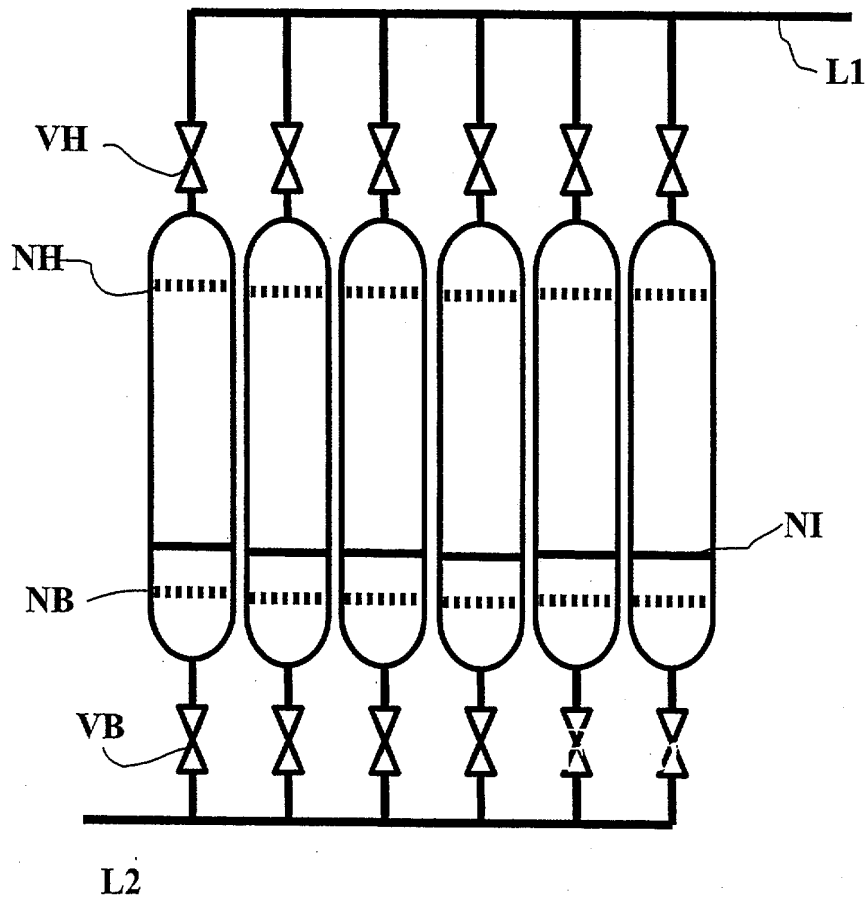


Figure 3

FIG.4





**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FA 622359  
FR 0211085

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
D,X	US 6 339 996 B1 (CAMPBELL STEVEN) 22 janvier 2002 (2002-01-22) * abrégé; figures * * colonne 3, ligne 7 - ligne 53 * * colonne 5, ligne 50 - colonne 7, ligne 16 *	1-4,6,7	F17C13/00 F17C1/12 B63B25/12 B63B27/24
A	---	5,8-11	
X	US 3 319 433 A (PAULIUKONIS RICHARD S ET AL) 16 mai 1967 (1967-05-16) * le document en entier *	1	
Y	US 2 687 618 A (BERGSTROM ERIC V) 31 août 1954 (1954-08-31) * le document en entier *	1	
Y	US 2 897 658 A (STERLING BECKWITH) 4 août 1959 (1959-08-04) * le document en entier *	1	
Y	US 3 831 811 A (BECKER R) 27 août 1974 (1974-08-27) * le document en entier *	1	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
			F17C B63B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
12 février 2003		Nicol, B	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>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</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention                      E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure                      à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date                      de dépôt ou qu'à une date postérieure.                      D : cité dans la demande                      L : cité pour d'autres raisons</p> <p>.....                      &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>			

1  
EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0211085 FA 622359**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 2-02-2003  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6339996	B1	22-01-2002	AUCUN	
US 3319433	A	16-05-1967	AUCUN	
US 2687618	A	31-08-1954	AUCUN	
US 2897658	A	04-08-1959	BE 541234 A	
			DE 1165055 B	12-03-1964
			FR 1136035 A	07-05-1957
			GB 781354 A	21-08-1957
			NL 102354 C	
			NL 200407 A	
			US 2810265 A	22-10-1957
US 3831811	A	27-08-1974	DE 2165388 A1	12-04-1973
			ES 409835 A1	16-04-1977
			FR 2169869 A1	14-09-1973
			GB 1390283 A	09-04-1975
			IT 986872 B	30-01-1975
			JP 48073811 A	05-10-1973
			NL 7217816 A	03-07-1973
			NO 132442 B	04-08-1975
			NO 132442 A	