



CONFÉDÉRATION SUISSE

OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

⑪

⑪ CH 658 122 A5

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

⑤①

Int. Cl. 4: F 25 D
F 25 J
B 01 D3/10
3/06
8/00

⑫ FASCICULE DU BREVET A5

②① Numéro de la demande: 2132/84

②② Date de dépôt: 02.05.1984

③③ Priorité(s): 05.05.1983 FR 83 07498

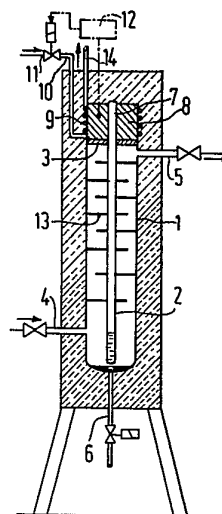
②④ Brevet délivré le: 15.10.1986

④⑤ Fascicule du brevet
publié le: 15.10.1986⑦③ Titulaire(s):
L'Air Liquide, Société Anonyme pour l'Etude et
l'Exploitation des Procédés Georges Claude, Paris
(FR)⑦② Inventeur(s):
Le Diouron, Raymond, Voiron (FR)⑦④ Mandataire:
Bovard AG, Bern 25

⑤④ Appareil de réfrigération et piège frigorifique comprenant un tel appareil.

⑤⑦ La région à refroidir (1) contient l'évaporateur d'un caloduc (2), lequel contient un fluide diphasique adapté à la température désirée, comprise entre 0 et -100 °C. Le condenseur (7) du caloduc est refroidi à la température de consigne par une bague de cuivre (8) elle-même refroidie par un courant régulé d'azote liquide.

Applications au piégeage frigorifique de solvants contenus dans un courant gazeux.



REVENDEICATIONS

1. Appareil destiné à réfrigérer au moyen d'un agent cryogénique une région déterminée (1; 1A; 1B) à une température comprise entre la température ambiante et la température dudit agent, caractérisé en ce qu'il comprend un caloduc (2; 2A, 2B) dont l'évaporateur est disposé dans ladite région et dont le condenseur (7; 7A; 7B) est en relation d'échange thermique avec un dispositif isotherme (8; 8A; 8B) maintenu à une température de consigne par un courant régulé d'azote liquide, ce caloduc contenant un fluide dont le domaine d'ébullition s'étend de part et d'autre de la température de consigne.

2. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce que le dispositif isotherme (8) est une masse métallique, notamment une masse de cuivre, qui entoure le condenseur (7) du caloduc (2) et qui est elle-même équipée d'un conduit (9) parcouru par le courant d'azote liquide, et en ce qu'il comprend une sonde de température (12) qui commande une vanne (11) montée dans la conduite (10) d'alimentation de ce conduit.

3. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce que le dispositif isotherme (8A) est une chambre (23) qui entoure le condenseur (7A) du caloduc (2A) et qui comporte des moyens (24, 26) de circulation forcée d'un fluide gazeux dans lequel est pulvérisé le courant d'azote liquide, et en ce qu'il comprend une sonde de température (12A) qui commande une vanne (11A) montée dans la conduite (10A) d'amenée d'azote liquide.

4. Appareil suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le dispositif isotherme (8B) est constitué par un caloduc auxiliaire dont l'évaporateur entoure le condenseur (7B) du caloduc principal (2B) et dont le condenseur contient un serpent (9B) parcouru par le courant d'azote liquide.

5. Appareil suivant l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comprend plusieurs caloducs (2B) aboutissant à ladite région (1B), et un dispositif isotherme (8B) commun à tous ces caloducs.

6. Piège frigorifique pour mélange de fluides, comprenant une enceinte de circulation du mélange pourvue d'un appareil de réfrigération conforme à l'une des revendications 1 à 5.

7. Piège frigorifique suivant la revendication 6, dans lequel l'enceinte (1) a une forme allongée, caractérisé en ce que l'évaporateur du caloduc (2) est constitué par un tube qui s'étend sur toute la longueur de l'enceinte, à l'intérieur de celle-ci.

8. Piège frigorifique suivant la revendication 7, caractérisé en ce que le tube (2) est pourvu de moyens de chauffage (15).

9. Piège frigorifique suivant l'une des revendications 7 et 8, dans lequel l'enceinte (1; 1B) comporte des chicanes, caractérisé en ce que les chicanes sont constituées par des ailettes (13; 13B) solidaires dudit tube (2; 2B).

La présente invention concerne la technique de réfrigération par un agent cryogénique dans la gamme de températures comprise entre la température ambiante et la température de cet agent, ainsi que son utilisation pour le piégeage frigorifique de certains constituants d'un mélange de fluides. L'invention s'applique en particulier à la réfrigération par l'azote liquide dans la gamme de températures comprise entre 0 et -100 °C environ.

L'azote liquide est disponible à une température très basse, qui est -196 °C sous la pression atmosphérique. On ne

peut donc l'utiliser qu'indirectement pour refroidir une région déterminée dans la gamme de températures comprise entre 0 et -100 °C environ. Des techniques courantes consistent soit à pulvériser l'azote liquide dans un tunnel ou dans une enceinte où l'on assure la circulation forcée de gaz à température régulée, soit à faire circuler un liquide caloporteur entre la région à refroidir et un échangeur de chaleur alimenté en azote liquide.

Ces techniques connues mettent en œuvre des dispositifs relativement coûteux (pompes, ventilateurs) qui se justifient lorsque les puissances frigorifiques à échanger sont importantes, mais il existe un besoin d'appareils plus économiques pour les puissances frigorifiques modérées, notamment dans de nombreux cas d'épuration de gaz.

L'invention a pour but de satisfaire ce besoin. A cet effet, elle a pour objet un appareil destiné à réfrigérer au moyen d'un agent cryogénique une région déterminée à une température comprise entre la température ambiante et la température dudit agent, caractérisé en ce qu'il comprend un caloduc dont l'évaporateur est disposé dans ladite région et dont le condenseur est en relation d'échange thermique avec un dispositif isotherme maintenu à une température de consigne par un courant régulé d'azote liquide, ce caloduc contenant un fluide dont le domaine d'ébullition s'étend de part et d'autre de la température de consigne.

Dans le présent mémoire, on entend par «caloduc» tout dispositif de transfert de chaleur comprenant une enceinte étanche qui contient un fluide diphasique et qui présente une zone de vaporisation appelée évaporateur, une zone de condensation appelée condenseur et, éventuellement, une zone adiabatique intermédiaire.

L'invention a également pour objet un piège frigorifique pour mélange de fluides comprenant une enceinte de circulation du mélange à épurer pourvue d'un appareil de réfrigération tel que défini ci-dessus.

Dans un mode de réalisation avantageux, l'enceinte a une forme allongée, et l'évaporateur du caloduc est constitué par un tube qui s'étend sur toute la longueur de l'enceinte, à l'intérieur de celle-ci.

Lorsque le piégeage conduit à la formation d'un dépôt solide, comme c'est le cas dans les opérations de déshydratation d'un gaz, le tube est pourvu de moyens de chauffage, ce qui permet d'effectuer très commodément la régénération.

Plusieurs modes de réalisation de l'invention vont maintenant être décrits en regard des dessins annexés, sur lesquels les figures 1 à 4 représentent respectivement quatre pièges frigorifiques conformes à l'invention.

Le piège frigorifique représenté à la figure 1 est destiné à éliminer d'un mélange de gaz un ou plusieurs constituants nettement moins volatils, par exemple pour récupérer un solvant coûteux et/ou polluant contenu dans un gaz. Il comprend essentiellement une enceinte 1 pourvue d'un caloduc 2.

L'enceinte 1 est cylindrique, d'axe vertical, et est limitée à sa partie supérieure par une plaque horizontale 3. Elle comporte dans sa région inférieure une conduite 4 d'entrée de gaz à traiter, et dans sa région supérieure une conduite 5 de sortie du gaz épuré. Du point bas de cette enceinte part une conduite de purge 6, les conduites 4 à 6 étant équipées de vannes appropriées.

Le caloduc 2 est un tube métallique qui s'étend suivant l'axe de l'enceinte 1. Ce tube, fermé à chaque extrémité, part du voisinage du point bas de l'enceinte, traverse un trou central de la plaque 3, dont il est solidaire, et dépasse au-dessus de celle-ci sur une courte longueur. Sur la partie d'extrémité 7 du tube 2 située au-dessus de la plaque 3 est soudée une bague massive 8 en cuivre. Sur cette dernière est brasé un serpentín hélicoïdal 9 relié à une conduite 10 d'alimentation en azote liquide, laquelle est pourvue d'une électrovanne 11.

Cette électrovanne est commandée par une sonde de température 12 adaptée pour mesurer en permanence la température de la bague 8.

Le tube 2 contient un fluide diphasique qui est tel que la température à laquelle le gaz doit être traité se trouve dans la région moyenne du domaine d'ébullition de ce fluide. En d'autres termes, la température de traitement, qui est choisie de façon que la tension de vapeur saturante du ou des constituants à éliminer soit négligeable, doit être éloignée à la fois du point triple et du point critique dudit fluide. A titre d'exemple, on peut choisir comme fluide le fluide connu sous la dénomination commerciale de «Fréon R 22» pour les températures de traitement de l'ordre de 0 à -50 °C, et l'éthylène pour les températures de traitement comprises entre -50 et -100 °C environ. Ce dernier cas correspond par exemple à l'extraction du solvant C₂H₅OH d'un courant d'azote, extraction qui peut s'effectuer vers -85 °C.

Sur toute sa partie contenue dans l'enceinte 1, c'est-à-dire sur l'évaporateur du caloduc, le tube 2 est muni d'ailettes métalliques horizontales 13. Ces ailettes sont décalées horizontalement les unes par rapport aux autres de manière à constituer une série de chicanes qui définissent entre l'entrée 4 et la sortie 5 un trajet sinueux pour le gaz à traiter.

L'ensemble constitué par l'enceinte 1, le caloduc 2, la bague 8 et le serpentín 9 est entouré d'un calorifugeage approprié.

En fonctionnement, l'électrovanne 11 est ouverte sous la commande de la sonde de température 12 de manière à amener puis à maintenir la bague de cuivre 8 à une température constante inférieure de quelques degrés à la température de traitement du gaz, pour tenir compte de l'imperfection des échanges de chaleur. Du fait de la très grande conductibilité thermique du caloduc 2 (cette conductibilité est de l'ordre de plusieurs dizaines de fois celle du cuivre), l'ensemble du caloduc se met en équilibre à cette température. L'azote vaporisé dans le serpentín 9 est évacué par une conduite 14.

Lorsque l'équilibre thermique est atteint, on ouvre les vannes des conduites 4 et 5 de façon à faire circuler le gaz à traiter dans l'enceinte 1. Le gaz entrant, relativement chaud (par exemple à la température ambiante), apporte de la chaleur à la partie du tube 2 contenue dans l'enceinte 1, et notamment à sa partie inférieure, qui contient du liquide. En même temps, l'azote liquide refroidit l'extrémité supérieure du tube 2, par l'intermédiaire de la bague 8. Par suite, il se produit une ébullition du liquide au bas du caloduc et une condensation de la vapeur en haut de ce caloduc, dans son condenseur 7. La condensation produit une aspiration de la vapeur vers le haut, et le liquide ainsi formé redescend par gravité.

Tant que le débit de gaz traité est tel que les puissances thermiques mises en jeu restent inférieures aux possibilités du caloduc 2, celui-ci reste pratiquement isotherme, à la température de la bague 8. Le gaz traité parcourt un trajet sinueux défini par les ailettes 13, en se refroidissant progressivement jusqu'à une température supérieure de quelques degrés à celle du caloduc. Grâce à ce refroidissement, son ou ses constituants les moins volatils se condensent en quasi-totalité sur les ailettes 13 et sur la surface extérieure du tube 2, descendent dans l'enceinte 1 par gravité, et sont évacués au point bas de celle-ci par la conduite 6.

Cet appareil est économique à réaliser et présente l'avantage important de refroidir le gaz à traiter exactement au niveau de température nécessaire, ce qui conduit à un excellent rendement.

Pour éviter la formation sur les ailettes 13 d'un film liquide pouvant gêner l'échange de chaleur entre le gaz à traiter et le caloduc, on peut, en variante, disposer l'enceinte 1 horizontalement ou avec une légère inclinaison sur l'horizontale.

Ceci présente également l'avantage de diminuer la quantité de fluide diphasique nécessaire pour garantir un bon mouillage de la totalité de la paroi intérieure du tube 2. Quelle que soit l'orientation de ce tube, l'expérience montre que le sens de circulation du gaz peut être inversé.

L'appareil de la figure 1 s'utilise dans le cas où les constituants piégés le sont sous forme liquide. La variante de la figure 2 comporte en outre des moyens très simples de régénération qui permettent à l'appareil de piéger également des constituants qui se solidifient, comme c'est le cas pour les opérations de déshydratation des gaz.

En effet, l'appareil de la figure 2 est identique à celui de la figure 1, à l'exception de la partie inférieure de l'enceinte 1: sur l'extrémité inférieure du tube 2 est soudée une deuxième bague massive 15 en cuivre analogue à la bague 8. Cette bague 15 constitue une résistance électrique reliée par des fils 16 à une source de courant électrique. La bague 15 est isolée de l'enceinte 1 par une plaque horizontale 17, et la conduite de purge 6 part d'un point situé juste au-dessus de cette plaque.

Le fonctionnement de l'appareil de la figure 2 est identique à celui décrit plus haut en regard de la figure 1, à ceci près que l'épuration du gaz traité a pour résultat la formation d'un dépôt solide, notamment de glace, sur le tube 2 et sur les ailettes 13. Après un certain temps de fonctionnement, on ferme les vannes des conduites 4 et 5, ainsi que l'électrovanne 11, et on alimente la bague 15 en courant électrique. Le caloduc 2 fonctionne alors en organe de transfert de chaleur de bas en haut en chauffant rapidement tout le tube 2 ainsi que ses ailettes. Lorsque la température est remontée au-dessus de 0 °C, la glace fond et s'écoule par gravité au bas de l'enceinte 1; l'eau ainsi recueillie est purgée par la conduite 6. Après cette opération de régénération, l'appareil est prêt pour effectuer un nouveau cycle d'épuration-régénération.

Bien entendu, en pratique, on peut coupler deux appareils de ce type dont l'un assure l'épuration du gaz à traiter pendant que l'autre est régénéré par chauffage.

Comme précédemment, le sens de circulation du gaz peut être inversé, et l'axe du tube 2 peut être disposé au moins à peu près horizontalement. Dans ce dernier cas, les moyens de chauffage peuvent être disposés du même côté que la bague 8 et combinés à celle-ci. Par exemple, le dégivrage pourrait être obtenu en faisant circuler un fluide chaud dans le serpentín 9. En fait, on peut alors prévoir les moyens de chauffage en n'importe quel point du caloduc.

L'appareil représenté à la figure 3 est destiné à récupérer sous forme liquide un solvant contenu en faible quantité dans un courant de gaz. Sur cette figure 3, on utilise pour désigner les éléments correspondants à ceux des figures 1 et 2 les mêmes références, affectées du suffixe «A».

L'appareil de la figure 3 est constitué essentiellement d'une enceinte en U 1A, isolée thermiquement, d'un dispositif isotherme 8A, servant à refroidir, et d'un dispositif 18 de récupération.

L'enceinte 1A comporte deux tronçons verticaux, dont un conduit d'entrée 19 relié à une conduite d'amenée 4A, et un conduit de sortie 20 relié à une conduite d'évacuation 5A. Les conduites 19 et 20 comportent une paroi verticale commune 21.

A sa partie inférieure, cette enceinte est pourvue, dans les conduits 19 et 20, d'une série de plaques verticales parallèles 22; une conduite de purge 6A équipée d'une vanne part du point bas de l'enceinte 1A.

Entre l'extrémité inférieure des plaques 22 et un point situé au-dessus de ces dernières, l'isolation de la paroi extérieure du conduit d'entrée 19 est supprimée et, au-dessus des plaques 22, cette partie de paroi est traversée par plusieurs

nappes de caloducs 2A constitués chacun par un tube métallique à ailettes horizontal ou à peu près horizontal. Ces tubes, tous parallèles, font saillie par leur condenseur 7A à l'extérieur du conduit 19, dans une chambre 23 isolée thermiquement, accolée à ce conduit.

La chambre 23, qui constitue le dispositif isotherme 8A, contient, outre la partie en saillie des caloducs 2A, un ventilateur 24 entraîné par un moteur 25, des déflecteurs 26 et une rampe 27 de pulvérisation d'azote liquide reliée à une conduite d'alimentation 10A. Cette dernière est munie d'une électrovanne 11A commandée par une sonde 12A qui mesure la température régnant dans la chambre 22. La paroi de cette chambre comporte un évent 28.

Le dispositif 18 de récupération est constitué par une série de nappes de caloducs 29 disposées au-dessus des caloducs 2A. Ces caloducs 29 sont constitués par des tubes ailettes horizontaux analogues aux caloducs 2A et traversant symétriquement la paroi centrale 21 de l'enceinte 1A.

En fonctionnement, la rampe 27 pulvérise dans la chambre 23 un débit d'azote liquide approprié pour y maintenir une température de consigne inférieure de quelques degrés à la température de piégeage du solvant. Cet azote se vaporise dans la chambre 23, et l'azote gazeux ainsi engendré est mis en circulation forcée à travers les nappes de caloducs 2A au moyen du ventilateur 24 et des déflecteurs 26, l'excès d'azote gazeux étant évacué par l'évent 28.

Lorsque la température désirée est atteinte, on envoie le gaz à épurer dans la conduite 4A et le conduit 19. Ce gaz, qui a été éventuellement pré-refroidi par un dispositif approprié non représenté, traverse les caloducs 29, puis les caloducs 2A. Ceux-ci le refroidissent à la température de piégeage, et le solvant se condense sur ces tubes et sur les plaques 22, qui jouent un rôle de séparateur de phases.

Le gaz épuré remonte ensuite par le conduit 20 et traverse les caloducs 29, auxquels il cède une partie des frigories qu'il a prélevées aux caloducs 2A. Les caloducs 29 transfèrent ces frigories dans le conduit d'entrée 19, en assurant ainsi un pré-refroidissement efficace du gaz entrant.

Les caloducs 2A et 29 contiennent un fluide diphasique approprié pour la température de traitement considérée, par exemple du «Fréon R22» ou de l'éthylène comme précédemment. Ils peuvent en outre contenir une structure capillaire favorisant le retour de la phase liquide vers l'évaporateur, éventuellement à l'encontre de la gravité, ainsi que le mouillage intérieur correct de l'évaporateur, comme ceci est bien connu dans la technique des caloducs. Comme on le comprend, l'évaporateur des caloducs 29 est, comme celui des caloducs 2A, la partie des tubes considérée qui est située dans le conduit d'entrée 19, tandis que la partie de ces tubes extérieure au conduit 19 constitue le condenseur des caloducs.

Il est à noter que la puissance de transfert thermique d'un tel appareil peut facilement être adaptée aux besoins en réali-

sant les nappes de caloducs sous forme modulaire, comme on l'a représenté à la figure 3 pour les caloducs 29.

Comme dans le cas des figures 1 et 2, on peut améliorer l'évacuation du condensat en disposant l'appareil «à plat», éventuellement avec une légère pente; dans ce cas, la figure 3 constituerait une vue de dessus, en coupe horizontale, de l'appareil.

L'appareil représenté à la figure 4 est également destiné au piégeage sous forme liquide d'un solvant contenu dans un courant gazeux. Sa constitution générale est analogue à celle de l'appareil de la figure 1, avec les deux différences suivantes: d'une part, l'enceinte 1B contient plusieurs caloducs 2B parallèles les uns aux autres. D'autre part, ces caloducs comportent comme source froide un dispositif isotherme commun 8B qui remplace la bague de cuivre 8 de la figure 1.

Le dispositif 8B est un caloduc auxiliaire délimité par une chambre 30 isolée thermiquement qui est située au-dessus de la plaque 3B qui délimite supérieurement l'enceinte 1B à réfrigérer. Cette chambre 30 contient un fluide diphasique approprié pour la température que l'on désire faire régner dans l'enceinte 1B. L'extrémité supérieure 7B des caloducs 2B est immergée dans le liquide, et un faisceau tubulaire 9B muni d'ailettes transversales occupe la partie supérieure de la chambre 30, dans la phase vapeur. Ce faisceau tubulaire est alimenté en azote liquide, comme à la figure 1, par une conduite 10B munie d'une électrovanne 11B, et l'échappement de l'azote gazeux s'effectue par une conduite 14B. La sonde 12B de commande de l'électrovanne 11B peut mesurer soit la température des caloducs 2B dans l'enceinte 1B, comme représenté, soit celle du caloduc auxiliaire 8B. Par ailleurs, les ailettes horizontales 13B sont communes à tous les caloducs 2B.

En fonctionnement, la vaporisation d'azote liquide dans le faisceau tubulaire 9B amène puis maintient le caloduc 8B, et par suite les caloducs 2B et leurs ailettes 13B, à la température de consigne. On fait circuler dans l'enceinte 1B le gaz à épurer, de la conduite 4B à la conduite 5B, le long du trajet sinueux défini par les ailettes 13B. La chaleur apportée par le gaz entrant vaporise le liquide contenu dans les caloducs 2B, et la vapeur ainsi formée se transfère dans la chambre 30, en vaporisant du liquide contenu dans cette chambre, autour des condenseurs 7B des caloducs 2B, comme représenté. Simultanément, le liquide de la chambre 30 condense la vapeur dans les caloducs 2B, et le liquide ainsi condensé redescend jusqu'au bas de ces derniers. Le solvant se condense sur les ailettes 13B et sur les caloducs 2B, se rassemble au bas de l'enceinte 1B et est évacué par la conduite de purge 6B.

En variante, dans chacun des cas ci-dessus, les tubes à ailettes transversales peuvent être remplacés par des tubes à ailettes longitudinales; dans les appareils des figures 1, 2 et 4, tout type approprié de chicanes peut être utilisé dans l'enceinte de traitement.

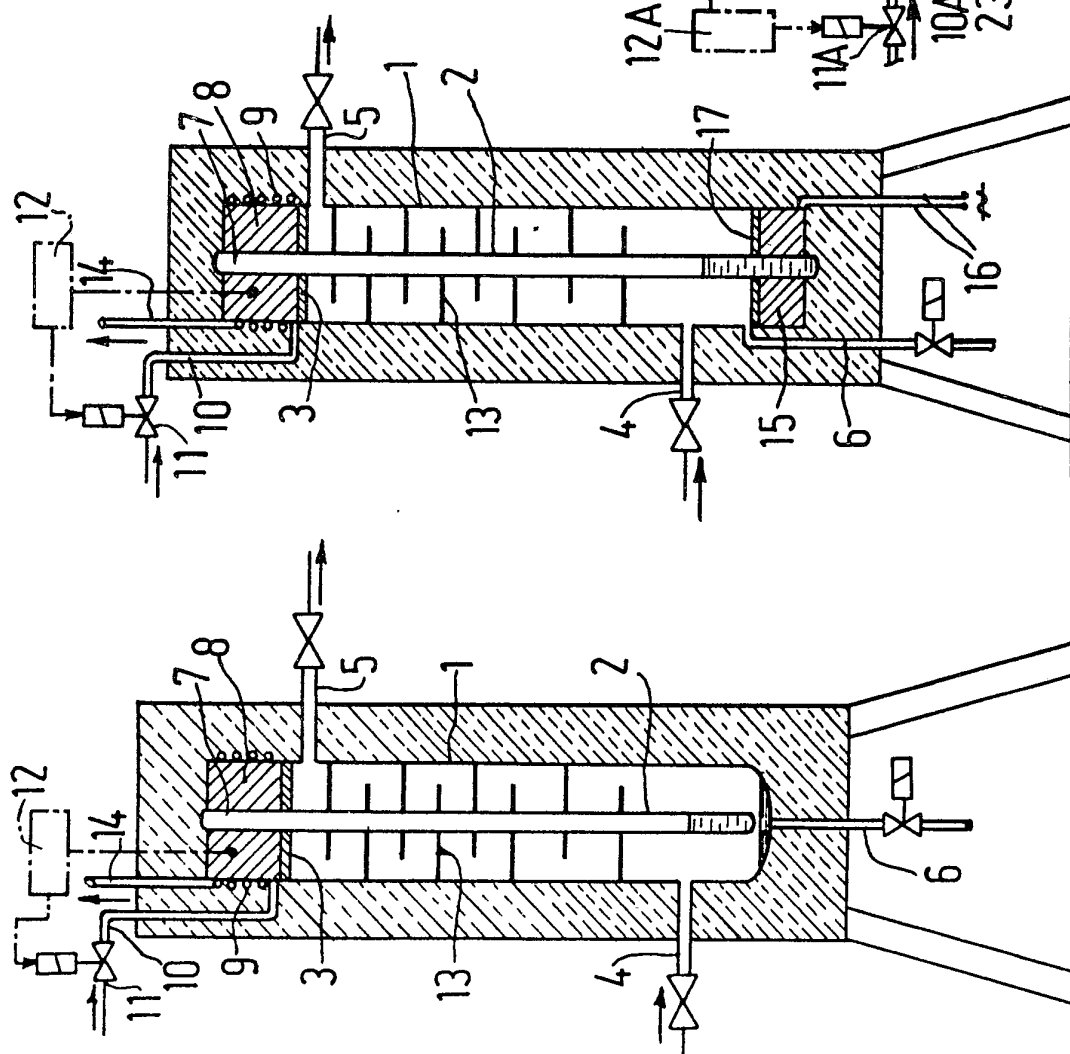


FIG. 1

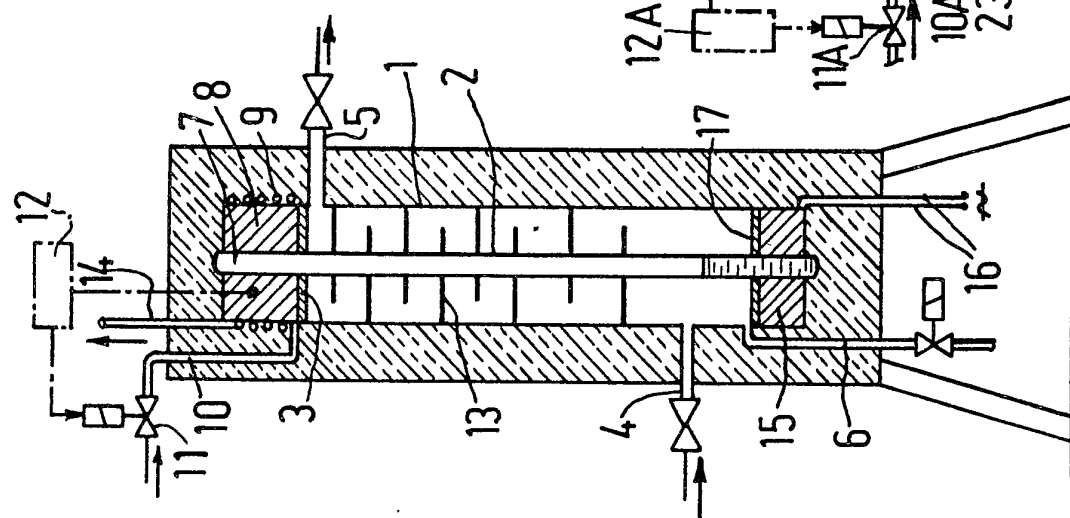


FIG. 2

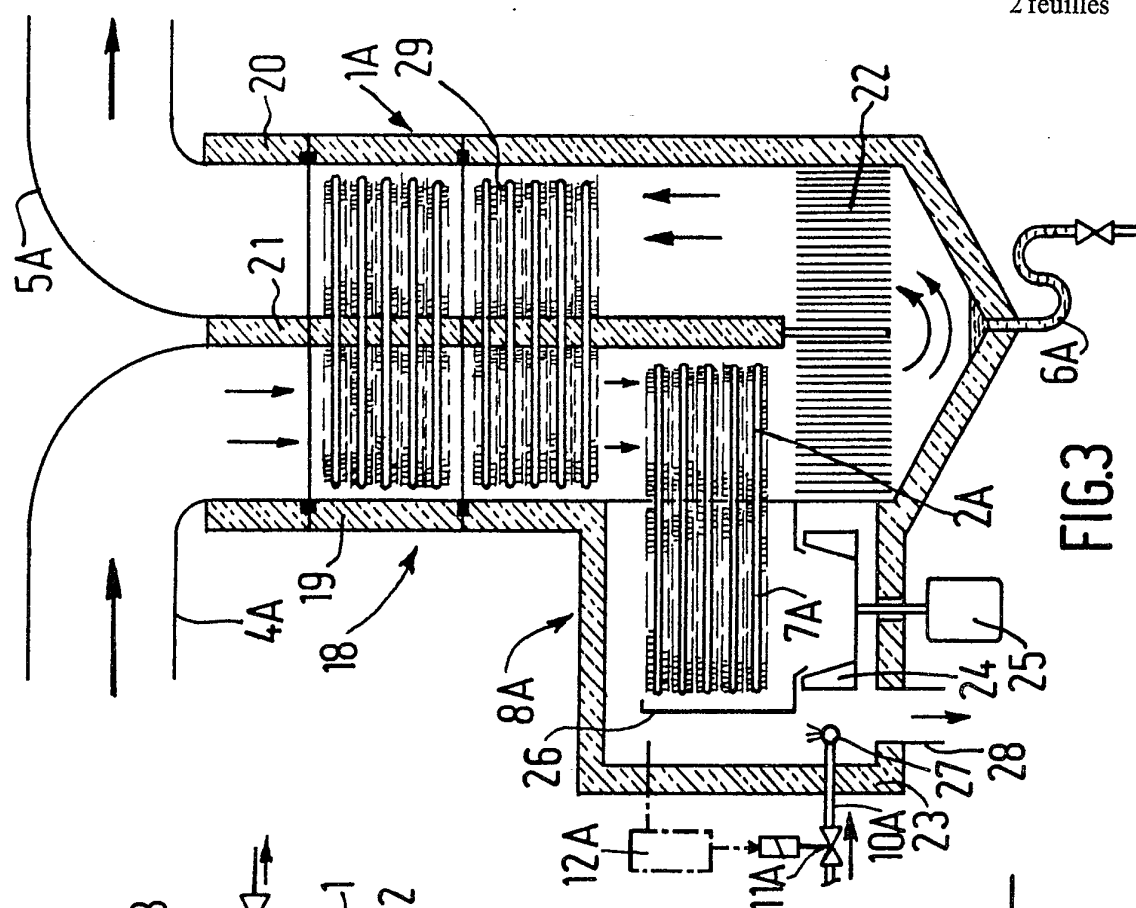


FIG. 3

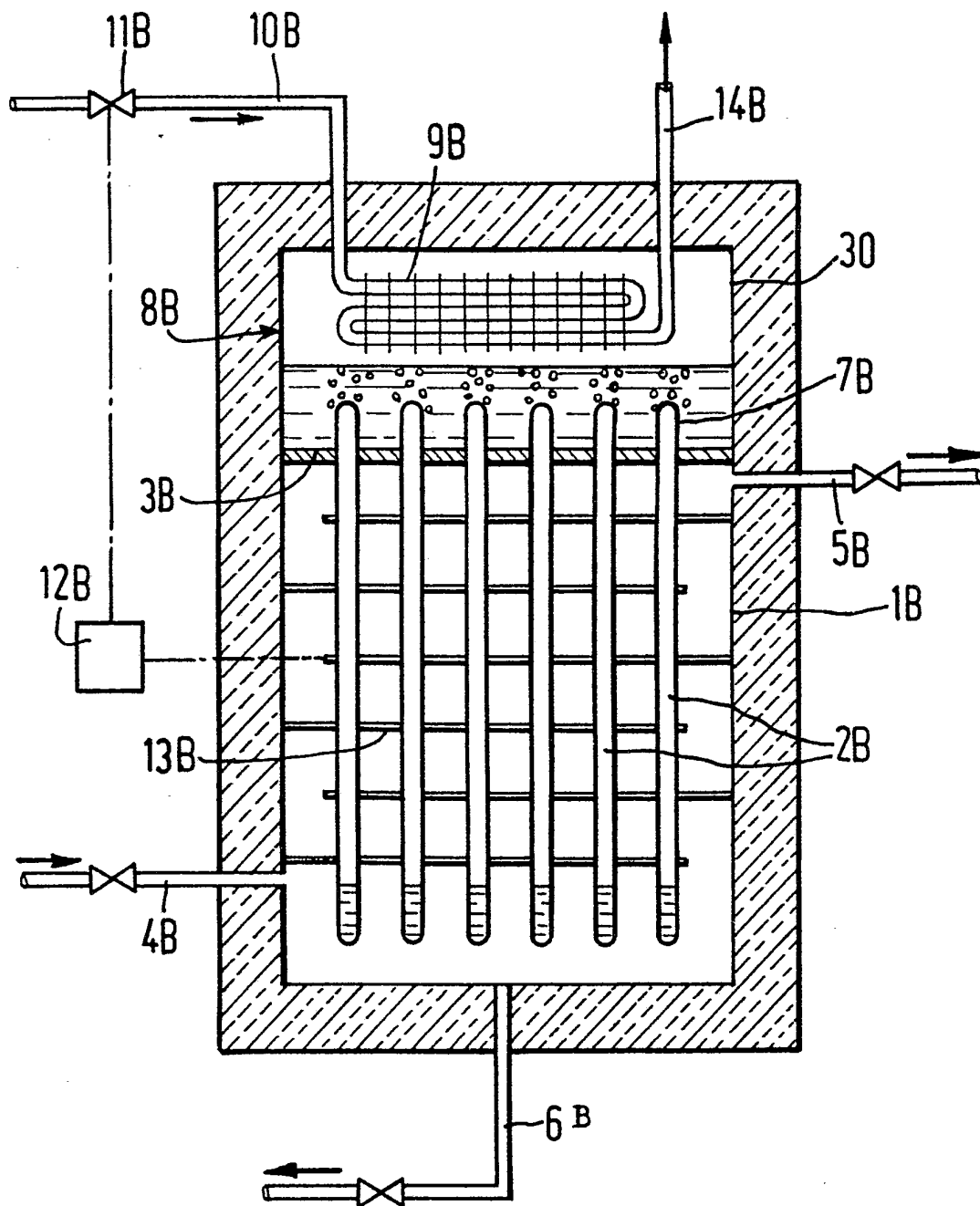


FIG.4