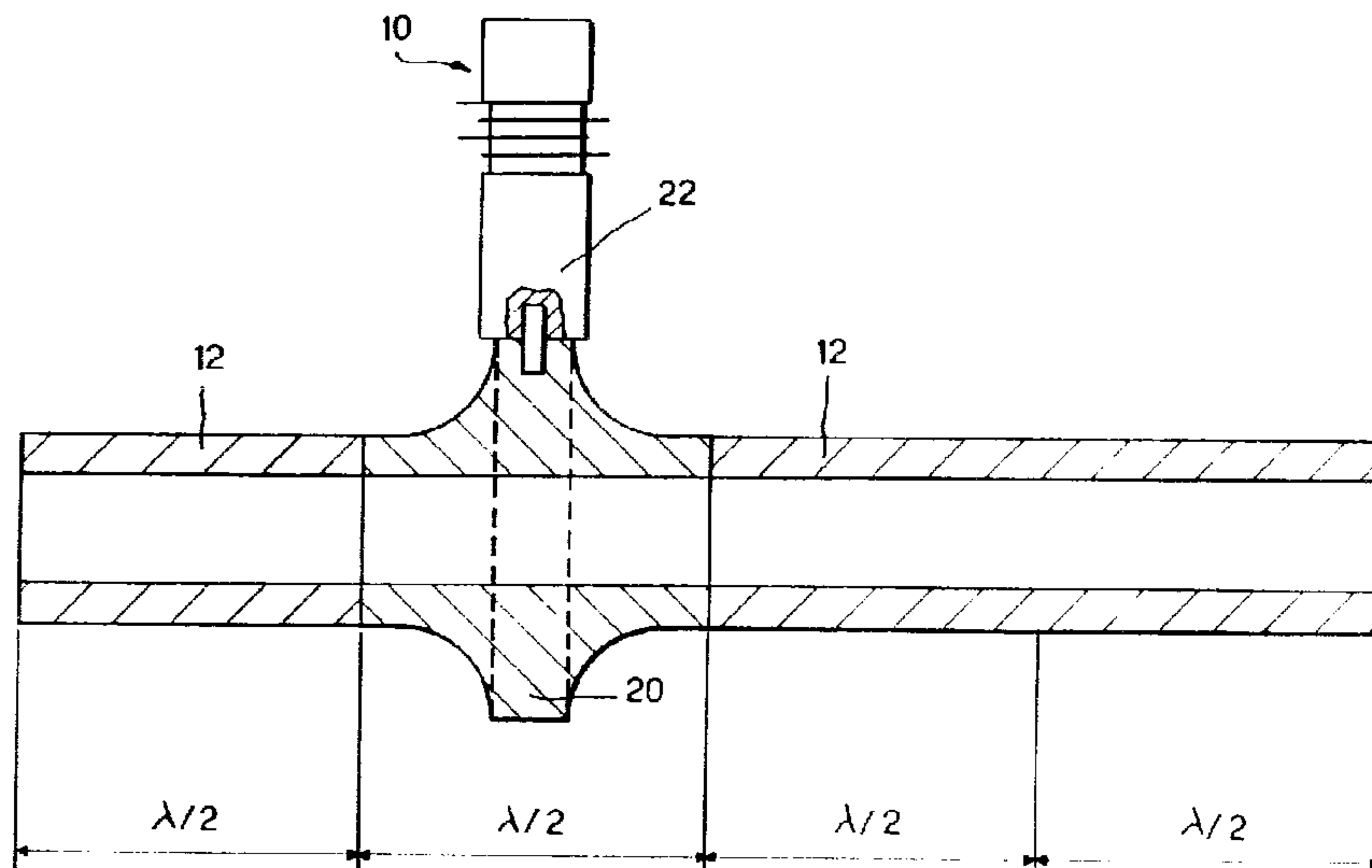




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 1992/01/15
 (87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 1992/08/06
 (45) Date de délivrance/Issue Date: 2002/04/30
 (85) Entrée phase nationale/National Entry: 1993/07/14
 (86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 1992/000029
 (87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 1992/012790
 (30) Priorité/Priority: 1991/01/17 (91/00499) FR

(51) Cl.Int.⁵/Int.Cl.⁵ B01J 19/10, B01F 11/02, B01D 19/00,
B06B 3/00
 (72) Inventeur/Inventor:
Vaxelaire, Philippe, FR
 (73) Propriétaire/Owner:
Vaxelaire, Philippe, FR
 (74) Agent: FETHERSTONHAUGH & CO.

(54) Titre : UNITE MODULAIRE DE REACTEUR ULTRA-SONIQUE TUBULAIRE
 (54) Title: MODULAR UNIT OF AN ULTRASONIC TUBULAR REACTOR



(57) Abrégé/Abstract:

Unité modulaire de réacteur pour le traitement ultra-sonique en continu de matières et/ou de réactifs, caractérisé en ce qu'elle comprend un corps métallique tubulaire (12) de surface intérieure (14) cylindrique et de section droite circulaire, ouvert à ses deux extrémités d'alimentation (26) et d'évacuation (18), en ce que la surface dudit corps métallique tubulaire présente, au voisinage de la zone nodale, une couronne (20) coaxiale audit tube et faisant saillie radialement, et en ce qu'au moins un convertisseur ultra-sonique (22) est agencé radialement et de façon solidaire de ladite couronne à la périphérie de cette dernière, la fréquence dudit convertisseur (22) étant égale à la fréquence de vibration de ladite couronne (20) et à la fréquence de vibration longitudinale dudit corps métallique tubulaire (12).



DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets ⁵ :
B01J 19/10, B01F 3/00
B06B 3/00, B01D 19/00 **2100571**

A1

(11) Numéro de publication internationale: **WO 92/12790**
(43) Date de publication internationale: 6 août 1992 (06.08.92)

(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR92/00029

(22) Date de dépôt international: 15 janvier 1992 (15.01.92)

(30) Données relatives à la priorité:
91/00499 17 janvier 1991 (17.01.91) FR

(71)(72) Déposant et inventeur: VAXELAIRE, Philippe [FR/FR]; 6, rue Henri-Jaccaz, F-74100 Ville-la-Grand (FR).

(74) Mandataire: AHNER, Francis; Cabinet Régimbeau, 26, avenue Kléber, F-75116 Paris (FR).

(81) Etats désignés: AT (brevet européen), AU, BE (brevet européen), CA, CH (brevet européen), DE (brevet européen), DK (brevet européen), ES (brevet européen), FI, FR (brevet européen), GB (brevet européen), GR (brevet européen), IT (brevet européen), JP, KR, LU (brevet européen), MC (brevet européen), NL (brevet européen), NO, SE (brevet européen), US.

Publiée

Avec rapport de recherche internationale.

(54) Title: MODULAR UNIT FOR A TUBULAR ULTRASONIC REACTOR

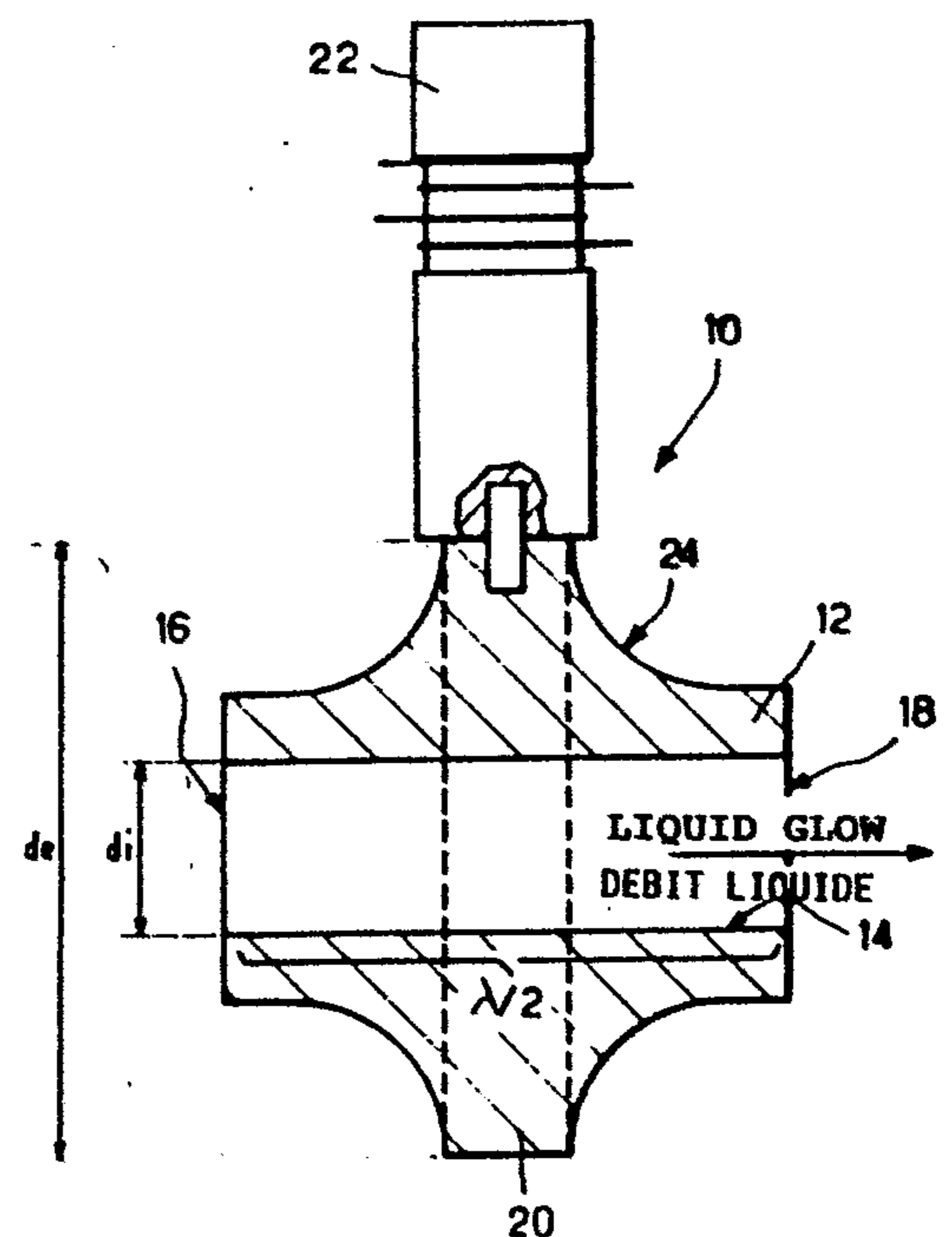
(54) Titre: UNITE MODULAIRE DE REACTEUR ULTRA-SONIQUE TUBULAIRE

(57) Abstract

Modular reactor unit for continuous ultrasonic processing of substances and/or reagents, characterized in that it comprises a tubular metallic body (12) having a cylindrical inner surface and a straight circular cross section, open at its feed (26) and discharge ends (18), in that the surface of said tubular metallic body has, in the region of its nodal zone, a radially projecting collar (20) coaxial to said tube, and in that at least one ultrasonic converter (22) is radially arranged integral with said collar at the periphery of the latter, the frequency of said converter (22) being equal to the frequency of vibration of said collar (20) and to the frequency of longitudinal vibration of said tubular metallic body (12).

(57) Abrégé

Unité modulaire de réacteur pour le traitement ultra-sonique en continu de matières et/ou de réactifs, caractérisé en ce qu'elle comprend un corps métallique tubulaire (12) de surface intérieure (14) cylindrique et de section droite circulaire, ouvert à ses deux extrémités d'alimentation (26) et d'évacuation (18), en ce que la surface dudit corps métallique tubulaire présente, au voisinage de la zone nodale, une couronne (20) coaxiale audit tube et faisant saillie radialement, et en ce qu'au moins un convertisseur ultra-sonique (22) est agencé radialement et de façon solidaire de ladite couronne à la périphérie de cette dernière, la fréquence dudit convertisseur (22) étant égale à la fréquence de vibration de ladite couronne (20) et à la fréquence de vibration longitudinale dudit corps métallique tubulaire (12).



2100571

UNITE MODULAIRE DE REACTEUR ULTRA-SONIQUE
TUBULAIRE

La présente invention concerne une unité modulaire de réacteur ultrasonique tubulaire ainsi que les diverses associations des dites unités en vue de former des multiréacteurs adaptés à chaque type d'application particulière.

Dans l'état actuel de la technique on connaît divers dispositifs ultrasoniques destinés à réaliser le traitement des liquides. Il s'agit principalement de dispositifs issus de la technologie du nettoyage par ultrasons et généralement agencés sous forme de cuves métalliques de faible épaisseur au fond desquelles sont fixés une pluralité d'émetteurs.

La mise en vibration du fond de la cuve induit dans le liquide contenu le phénomène de cavitation dont l'intensité décroît à mesure qu'on s'éloigne de la source, en l'occurrence le fond de la cuve.

On connaît également une technique dite à double diaphragmes en opposition, qui, tout comme la technique de nettoyage précitée, consiste à disposer un certain nombre d'émetteurs sur deux plaques de tôle mises en regard à une distance comprise entre 1,5 et 4 mm, appelée distance de couplage. On fait ensuite passer le liquide à traiter entre les deux plaques émissives.

Une autre configuration utilise une pluralité d'émetteurs fixés à la périphérie d'un tube métallique. Cette configuration permet certes de traiter en passage mais présente les inconvénients de nécessiter un grand nombre d'émetteurs, de ne pas offrir la possibilité de dépasser le niveau d'amplitude couramment obtenu en technique de nettoyage et impose le remplacement complet du système en cas d'usure du tube de traitement en contact avec le produit traité.

Toutes les techniques connues se ramènent en fait à des techniques de nettoyage par ultrasons où les émetteurs sont directement fixés à des diaphragmes métalliques, tubes ou fonds de cuve.

On connaît enfin les sondes expérimentales de laboratoire dites sondes ultrasoniques bien connues par exemple sous le nom de

(MC)

(MC)

Sonifier (BRANSON) ou Vibracell (SONIC'S et MATERIALS). Ce type d'appareils permet de traiter de faibles volumes ou de faibles débits.

La présente invention a pour but de proposer un réacteur ultrasonique tubulaire basé sur le principe de la résonance mécanique pour propager de façon cohérente à partir d'un nombre d'émetteurs réduit des vibrations ultrasoniques destinées au traitement des fluides traversant ledit réacteur.

Conformément à la présente invention, cet objectif a pu être atteint par la mise au point d'une unité modulaire de réacteur caractérisée en ce qu'elle comprend un corps métallique tubulaire de surface intérieure cylindrique et de section droite circulaire, ouvert à ses deux extrémités d'alimentation et d'évacuation, en ce que la surface extérieure dudit corps métallique tubulaire présente, au voisinage de la zone nodale, une couronne coaxiale audit tube et faisant saillie radialement, et en ce qu'au moins un convertisseur ultra-sonique est agencé radialement et de façon solidaire de ladite couronne à la périphérie de cette dernière, la fréquence dudit convertisseur étant égale à la fréquence de vibration de ladite couronne et à la fréquence de vibration longitudinale dudit corps métallique tubulaire.

D'autres caractéristiques et avantages de l'objet de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée faite ci-après notamment en référence aux dessins annexés illustrant un certain nombre de modes de réalisation particuliers, dessins sur lesquels :

- la figure 1A représente une vue de côté d'une unité modulaire de réacteur selon l'invention,
- la figure 1B représente une vue de face de l'unité modulaire de réacteur de la figure 1A,
- la figure 2 représente un multi-réacteur en ligne comportant plusieurs unités modulaires de réacteur selon l'invention associé à un convertisseur unique,
- la figure 3 représente un multi-réacteur en ligne comportant une pluralité d'unités modulaires de réacteur associées à trois convertisseurs distincts,

2100571

3

- la figure 4 représente un multi-réacteur en ligne comprenant une seule unité modulaire dissymétrique au niveau de la prolongation de la partie tubulaire dudit réacteur.

5 - la figure 5 représente un autre mode de réalisation d'un multi-réacteur en ligne associant diverses unités modulaires à plusieurs convertisseurs, et

- la figure 6 représente une unité modulaire dont la couronne est rapportée sur le corps métallique tubulaire, par exemple par emmanchement à force,

10 - la figure 7 représente une unité modulaire utilisant un élément tubulaire intérieur couplé à ladite unité au voisinage des ventres d'amplitude longitudinale (noeud de contrainte).

Tel que représenté sur les figures 1A et 1B illustrant respectivement une vue de côté et une vue de face de l'unité modulaire de réacteur 10 selon l'invention, on constate que ladite unité est principa-
15 lement constituée de trois éléments caractéristiques essentiels. L'unité 10 comprend tout d'abord un corps métallique tubulaire 12 présentant une surface intérieure 14 cylindrique et de section droite circulaire. Le corps métallique tubulaire 12 est ouvert à ses deux extrémités, c'est-à-dire respectivement à son extrémité d'alimentation 16 et à son extrémité d'évacuation 18. Le flux des matières et/ou des réactifs à traiter s'écoule
20 donc dans le sens de la flèche allant de l'extrémité 16 vers l'extrémité 18. Ces deux extrémités d'alimentation et d'évacuation 16, 18 seront associées à des conduits d'alimentation et d'évacuation eux-mêmes éventuellement munis de pompes de circulation. Le reste de l'installation n'est pas représenté étant donné qu'il fait appel à des organes tout à fait classiques
25 bien connus de l'homme du métier.

L'unité modulaire 10 comprend également sur la surface extérieure du corps métallique tubulaire 12, au voisinage de la zone nodale de cette dernière, une couronne 20 coaxiale audit tube, ladite couronne faisant radialement saillie vers l'extérieur de la surface libre du corps
30 tubulaire 12.

Enfin, l'unité modulaire 10 comprend au moins un convertisseur ultra-sonique 22 qui est agencé radialement et de façon solidaire de

35

FEUILLE DE REMPLACEMENT

ladite couronne 20 à la périphérie de cette dernière. Conformément à la présente invention la fréquence dudit convertisseur 22 est égale à la
5 fréquence de vibration de ladite couronne 20 et à la fréquence de vibration longitudinale du corps métallique tubulaire 12.

Dans la pratique on utilise comme convertisseur ultra-sonique 22 un convertisseur classique, par exemple du type à excitation piézo-électrique. Il peut par exemple être du type « Triplet de Langevin » tel que
10 cela se trouve décrit dans l'ouvrage High Intensity Ultrasonics de B. BROWN et J.E. GOODMAN, Éditions ILIFFE BOOKS LIMITED, LONDON, 1965, Chapitre 4.

Sur le mode de réalisation particulier décrit et représenté aux figures 1A et 1B, la couronne coaxiale 20 est usinée dans la masse du corps
15 métallique tubulaire 12. Dans ce type de réalisation, la couronne 20 se raccorde à la surface extérieure du corps tubulaire 12 par l'intermédiaire de congés de raccordement 24. On observera que le corps métallique tubulaire 12 présente, sur le mode de réalisation décrit, une longueur égale à une demi-longueur d'onde pour la fréquence que l'on désire utiliser. Il est à noter
20 à ce propos que la fréquence de la vibration ultra-sonique délivrée par l'émetteur ou le convertisseur 22 sera généralement comprise entre 5 et 100 kHz. Dans ce mode de réalisation particulier la longueur du corps métallique tubulaire est rigoureusement égale à une demi longueur d'onde de la fréquence de la vibration ultra-sonique. Il est cependant parfaitement
25 possible, dans le cadre de la présente invention, d'avoir recours à une partie métallique tubulaire de plus grande dimension, se prolongeant par exemple d'un ou des deux côtés de la couronne coaxiale 20 par une longueur égale à un multiple entier de demi longueur d'onde de la fréquence délivrée, la liaison de cette partie métallique avec l'unité modulaire pouvant par exemple être
30 réalisée au niveau des ventres d'amplitude longitudinaux (noeuds de contraintes) au moyen de filetages, emmanchements à force, soudures ou analogue ou bien encore être usinée dans la masse.

On rappellera à ce propos que les diamètres intérieur et extérieur de la couronne 20, le diamètre intérieur de la couronne 20

2100571

5

correspondant par ailleurs au diamètre intérieur du corps métallique tubulaire 12, déterminent la fréquence radiale de cette couronne coaxiale 20. En revanche la longueur du corps métallique tubulaire 12 que l'on choisit en multiple de demi longueur d'onde détermine la fréquence longitudinale de l'ensemble du réacteur.

Dans le mode de réalisation particulier décrit aux figures 1A et 1B on utilise un seul convertisseur ou émetteur 22 qui peut être indifféremment du type électrostrictif, magnétostrictif, électrocapacitif, ou encore plus habituellement piézo-électrique. Le convertisseur 22 est fixé à la périphérie de la couronne 20 de préférence au niveau d'un méplat 26 agencé de manière à assurer une parfaite mise en contact de l'émetteur 22 avec la couronne 20. La liaison mécanique entre ces deux organes est notamment assurée de façon avantageuse par l'intermédiaire d'un goujon ou organe analogue 28.

En ce qui concerne la fréquence de la vibration ultra-sonique délivrée par le convertisseur 22 de l'unité modulaire de réacteur 10 selon l'invention il y a lieu de préciser que les diamètres intérieurs et extérieurs respectivement d_i et d_e de la couronne 20 peuvent être déterminés de façon classique par l'homme du métier en relation avec ladite fréquence de vibration délivrée par l'émetteur. Dans le cas d'une couronne 20 présentant par exemple une épaisseur de l'ordre de 15 mm, les diamètres intérieurs et extérieurs de cette dernière sont déterminés en fonction de la fréquence de vibration F conformément à la relation :

$$F = \frac{C \cdot 1,08}{\frac{d_i - d_e}{2} \cdot \pi}$$

où C représente la vitesse du son, en cm par seconde, associée au métal dans lequel est réalisée ladite couronne 20.

On peut citer par exemple une couronne réalisée en alliage

35

FEUILLE DE REMPLACEMENT

2100571

6

d'aluminium excitée à partir d'un émetteur piézoélectrique 20 kHz de diamètre 40 mm. Dans ce cas de figure la couronne aura une épaisseur de 30 mm, un diamètre extérieur de 130 mm pour un diamètre intérieur de 42 mm pour respecter la fréquence de 20 kHz délivrée par l'émetteur.

5 Une telle unité de réacteur fonctionne de la manière suivante. La vibration produite par le ou par les convertisseur(s) 22 provoque la mise en vibration radiale de la couronne 20, qui, en même temps, provoque la mise en vibration longitudinale de la partie tubulaire en multiple de demi longueur d'onde du corps métallique tubulaire 12. La phase de compression
10 de la couronne 20 correspond à la phase de dilatation longitudinale du corps tubulaire 12, et la dilatation de la couronne 20 correspond à la phase de compression longitudinale du corps tubulaire 12. Pour obtenir un tel résultat on rappellera que la couronne coaxiale 20 doit être située au voisinage du plan nodal du corps tubulaire 12. Ainsi, le réacteur selon
15 l'invention utilise la vibration radiale du diamètre intérieur de la couronne 20 pour mettre en cavitation un liquide quelconque à traiter, qui se trouve débité en continu au travers du diamètre intérieur du corps tubulaire métallique 12.

20 Ainsi, tout liquide, tout gaz, tout colloïde ou encore toute autre matière à traiter doivent être par des moyens classiques non représentés débités au travers du diamètre intérieur 14 du corps métallique tubulaire 12 du réacteur 10.

25 La figure 2 représente un réacteur ultra-sonique qui est obtenu par coupage en série d'une pluralité d'unités modulaires de réacteur 10 tel que représenté aux figures 1A et 1B. Dans le mode de réalisation de la figure 2, on a regroupé trois unités modulaires 10 de manière à former un multi-réacteur en ligne, mais en n'utilisant qu'un seul convertisseur ultra-sonique 22. Ainsi un tel ensemble peut être réalisé monobloc ou par liaisons rigides desdites unités modulaires au niveau des ventres d'amplitude
30 longitudinaux.

Il est également possible, tel que cela se trouve illustré à la figure 3 de réaliser un multi-réacteur en ligne par association de plusieurs

35

FEUILLE DE REMPLACEMENT

2100571
7

unités modulaires de réacteur 10 couplées à une pluralité de convertisseurs 22. Dans le mode de réalisation particulier décrit, on utilise trois unités modulaires complètes équipées chacune de leur convertisseur 22, ces unités complètes étant disposées aux deux extrémités et au centre du réacteur tubulaire. On observera qu'entre chacune de ces unités modulaires 10 complètes en demi longueur d'onde, on a interposé un ensemble constitué par un corps métallique tubulaire 12 également en demi longueur d'onde se prolongeant à sa périphérie par une couronne coaxiale 22. Ceci revient également à une association d'unités modulaires de réacteur précédemment décrites dont certaines sont en demi longueur d'onde et d'autres en longueur d'onde entière.

Le fonctionnement de ce type de réacteur en ligne est identique au fonctionnement des unités modulaires précédemment décrites. Dans la même phase du mouvement vibratoire, on observera donc pour les différents éléments associés des états simultanés, de proche en proche, en compression et en dilatation.

Lorsque le réacteur ultra-sonique en ligne comprend plusieurs émetteurs ou convertisseurs ultra-soniques 22, ces derniers peuvent être avantageusement alimentés en parallèle par un même générateur. Il convient cependant de prendre la précaution d'inverser la polarité des émetteurs de rang pair par rapport aux émetteurs de rang impair, ceci dans le but de respecter les inversions de phases qui se produisent à chaque demi longueur d'onde.

Le mode de réalisation particulier représenté à la figure 4 comprend une couronne radiale 20 qui va exciter en série une longueur de corps métallique tubulaire prolongeant la partie tubulaire de l'élément modulaire central de part et d'autre de ce dernier. On observera que la longueur des tubes de chacun des deux côtés de l'unité modulaire centrale est également réalisée en un multiple entier de demi longueur d'onde. Les dits tubes peuvent par exemple être vissés ou emmanchés à force à l'unité modulaire au niveau des ventres d'amplitude longitudinaux. Il n'est pas

35

FEUILLE DE REMPLACEMENT

2100571

8

nécessaire d'avoir recours à une disposition symétrique. Tel que cela se trouve illustré à la figure 4, il peut être avantageux en fonction des applications particulières envisagées de prévoir une zone tubulaire plus ou moins longue en amont ou en aval de la zone de vibration ultra-sonique intense. Dans la pratique, on aura recours à un multiple de demi longueur d'onde généralement compris entre 1 et 10, multiple choisi en fonction du matériau dans lequel on réalise le réacteur, en fonction des produits à traiter et bien sûr, de la nature et des conditions de la réaction mise en jeu au sein du réacteur. Il peut par exemple être avantageux, comme cela se trouve illustré sur la figure 4, de prévoir une entrée d'alimentation relativement proche de la zone intense de cavitation, ce qui permet de communiquer rapidement l'énergie nécessaire à l'initiation de la réaction qui peut se prolonger dans la partie tubulaire avale du réacteur, i.e. dans une zone soumise à une cavitation ultra-sonique de moins grande puissance et de moins grande amplitude.

L'homme du métier choisira, en fonction de l'application particulière, la longueur adaptée dudit corps métallique tubulaire 12 en respectant toutefois une longueur égale à un multiple entier de demi longueurs d'onde de la fréquence de la vibration ultra-sonique délivrée par le ou les convertisseurs 22.

La figure 5 illustre un dernier mode de réalisation dans lequel on a recours à plusieurs couronnes radiales 20 qui vont exciter en série une longueur de tube qui, en l'espèce est en demi longueur d'onde, mais qui bien entendu peut également être constitué par de plus grandes longueurs de tubes réalisées en multiple entier de demi longueurs d'onde. Le principe de fonctionnement reste rigoureusement identique.

La figure 6 représente une variante d'une unité modulaire de réacteur selon l'invention. Conformément à cette variante, au lieu d'être usinée dans la masse, la couronne coaxiale 20 et le corps tubulaire métallique 12 sont réalisés séparément. Ceci permet de choisir un matériau d'excellente propriété acoustique tel qu'un alliage d'aluminium et/ou de

35

FEUILLE DE REMPLACEMENT

titane, pour la fabrication de la couronne 20, et d'avoir recours à un autre matériau présentant une plus grande résistance à l'érosion de cavitation ultra-sonique pour la fabrication de la partie tubulaire métallique 12 à l'intérieur de laquelle circule le liquide à traiter. On pourra ainsi réaliser la partie tubulaire 12 en un acier spécial tel qu'un acier inoxydable. En outre, la surface intérieure 14 du réacteur tubulaire sera avantageusement munie d'une couche de protection contre l'érosion par cavitation, par exemple d'une couche céramique, métallique dure ou encore céramométallique. Dans ce mode de réalisation de la figure 6, la couronne est rendue solidaire de la partie tubulaire par un moyen mécanique approprié assurant une liaison solide et homogène. Une telle liaison rigide absolument indispensable pour réaliser l'unité modulaire de réacteur selon l'invention, peut par exemple être obtenue par des moyens mécaniques tels qu'un vissage, un blocage, ou encore un emmanchement à force. On peut également avoir recours à d'autres moyens non mécaniques, tels que des collages, soudages ou analogues.

- La figure 7 représente une autre variante d'une unité modulaire de réacteur selon l'invention.

Conformément à cette variante, l'unité modulaire de réacteur est agencée de manière à recevoir à l'intérieur un élément tubulaire 30 accordé à la fréquence de l'émetteur 22, vibrant à partir du mode axial par serrage de ses deux extrémités 32,34 au voisinage des ventres d'amplitude (noeuds de contraintes) longitudinale de ladite unité.

Dans ce mode de réalisation, ledit élément tubulaire 30 est serré entre deux pièces elles-mêmes accordées à la fréquence de l'émetteur et pouvant être, par exemple, des corps métalliques tubulaires 36 et 38 tels que décrits sur la figure 4.

L'élément tubulaire rapporté 30, sera avantageusement agencé avec des portées soignées (i.e. 45°) pour assurer un parfait centrage et un bon couplage avec les éléments 36 et 38 le serrant à chacune de ses extrémités 32 et 34. On notera, tel que décrit sur la figure 7, un jeu 40

2100571

10

avec le diamètre intérieur de l'unité modulaire permettant les libres expansion et compression radiales de l'élément tubulaire 30 à l'intérieur duquel circule le fluide à traiter.

5 Ainsi, les unités modulaires de réacteur selon l'invention, peuvent être utilisées pour le traitement de tous types de liquide, gaz, colloïde, etc. débitant de façon naturelle ou forcée à travers le diamètre intérieur des réacteurs. Il convient également de noter qu'un flux de liquide extérieur pourrait être simultanément traité par la cavitation provoqué par la vibration extérieure des couronnes 20, c'est-à-dire que l'on pourrait
10 traiter simultanément deux flux de liquides différents, l'un passant à l'intérieur du réacteur, l'autre s'écoulant à la périphérie extérieure.

Les applications industrielles de ce type de réacteurs sont nombreuses : on citera par exemple à titre d'illustration les applications suivantes :

- 15 - activations de réactions chimiques (Grignard, Barbier, etc.)
- désagglomération et lavage de poudres métalliques, céramiques ou minérales
- traitement de minerais
- mouillage et dispersions de pigments, colorants
20 - dissolution accélérée de gaz
- dégazage
- homogénéisation de produits
- nettoyage de fils
- émulsification, etc.

25

30

35

FEUILLE DE REMPLACEMENT

REVENDEICATIONS

1) Unité modulaire de réacteur pour le traitement ultrasonique en continu de matières et/ou de réactifs, caractérisé en ce qu'elle comprend un corps métallique tubulaire (12) de surface intérieure (14) cylindrique et de section droite circulaire, ouvert à ses deux extrémités d'alimentation (26) et d'évacuation (18), en ce que la surface extérieure dudit corps métallique tubulaire présente, au voisinage de la zone nodale, une couronne (20) coaxiale audit tube et faisant saillie radialement, et en ce qu'au moins un convertisseur ultra-sonique (22) est agencé radialement et de façon solidaire de ladite couronne à la périphérie de cette dernière, la fréquence dudit convertisseur (22) étant égale à la fréquence de vibration de ladite couronne (20) et à la fréquence de vibration longitudinale dudit corps métallique tubulaire (12).

2) Unité modulaire de réacteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que la longueur dudit corps métallique tubulaire (12) est égale à un multiple entier de demi longueur d'onde de la fréquence de la vibration ultra-sonique émise par ledit convertisseur (22).

3) Unité modulaire de réacteur selon l'une des revendications 1 et 2 caractérisé en ce que la fréquence de la vibration ultra-sonique délivrée par ledit convertisseur (22) est comprise entre 5 et 100 kHz.

4) Unité modulaire de réacteur selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ledit convertisseur ultra-sonique (22) est fixé à la périphérie de ladite couronne (20) au niveau d'un méplat agencé de manière à assurer un parfait couplage du convertisseur (26) avec la couronne, la liaison mécanique étant assurée par l'intermédiaire d'un goujon (28).

5) Unité modulaire de réacteur selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que ladite couronne (20) est usinée dans la masse métallique du corps tubulaire (12).

6) Unité modulaire de réacteur selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que ladite couronne (20), est rapportée sur ledit corps métallique tubulaire (12) par tout moyen assurant une liaison rigide.

- 7) Unité modulaire de réacteur selon la revendication 6,
5 caractérisée en ce que ladite couronne (20) est réalisée en un alliage
d'aluminium et/ou de titane, et en ce que ledit corps métallique tubulaire (12)
est réalisé en acier inoxydable.
- 8) Unité modulaire de réacteur selon l'une des revendications 1 à
7, caractérisée en ce que la surface intérieure (14) du réacteur tubulaire est
10 munie d'une couche de protection contre l'érosion par cavitation du réacteur,
ladite couche étant constituée par un revêtement céramique, métallique dur
ou céramométallique.
- 9) Unité modulaire de réacteur selon l'une des revendications 1 à 6
caractérisée en ce qu'un élément tubulaire (30) est rapporté à l'intérieur de
15 ladite unité par tout moyen de serrage, au voisinage des ventres d'amplitude
longitudinale de ladite unité.
- 10) Réacteur ultra-sonique, caractérisé en ce qu'il est réalisé par
couplage en série d'une pluralité d'unités modulaires de réacteur (10) selon
l'une des revendications 1 à 9, de manière à créer un multi-réacteur en ligne.
- 20 11) Réacteur ultra-sonique selon la revendication 10, caractérisé en
ce qu'il comprend plusieurs convertisseurs (22) alimentés en parallèle par le
même générateur.

FIG.1B

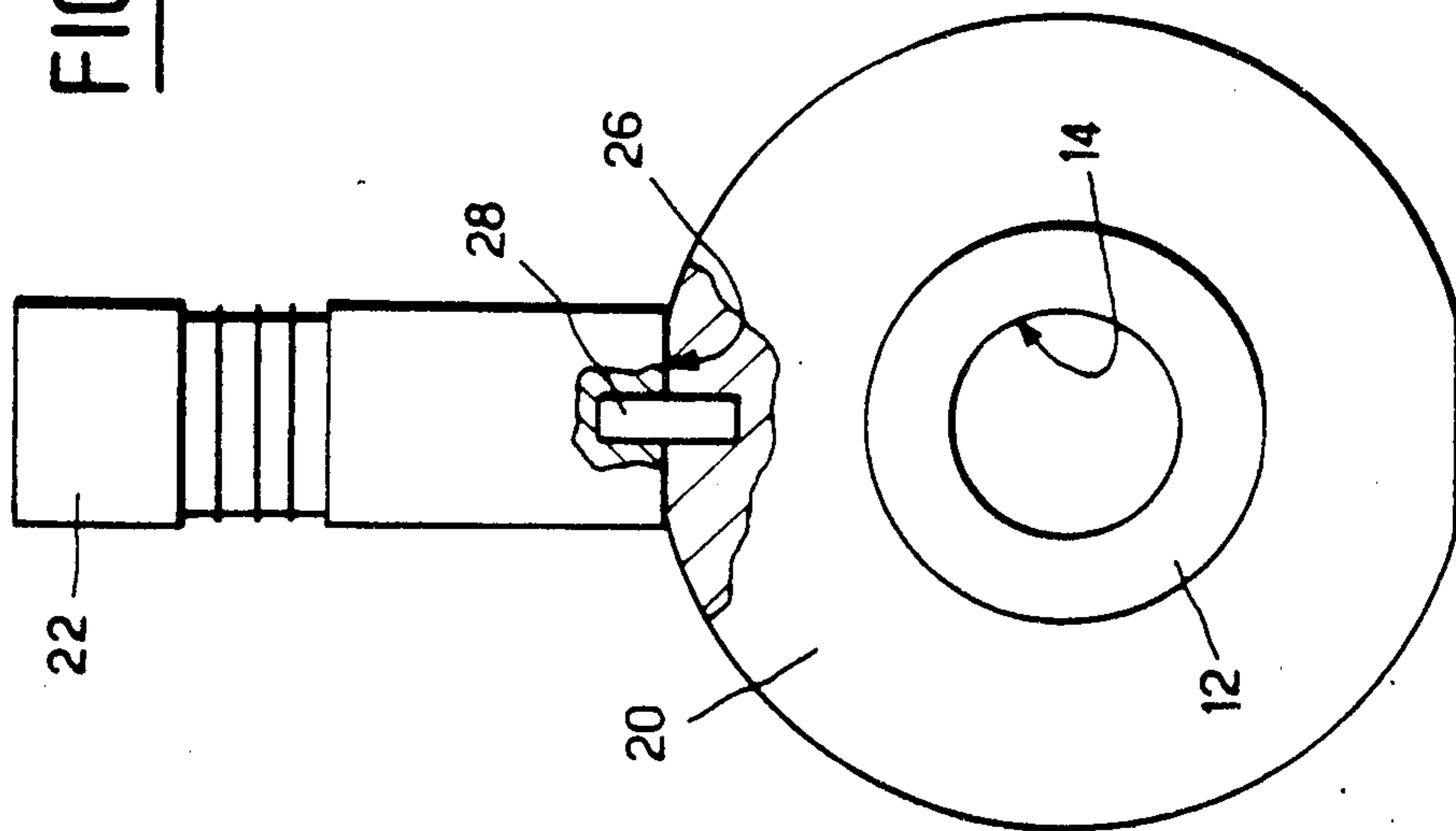
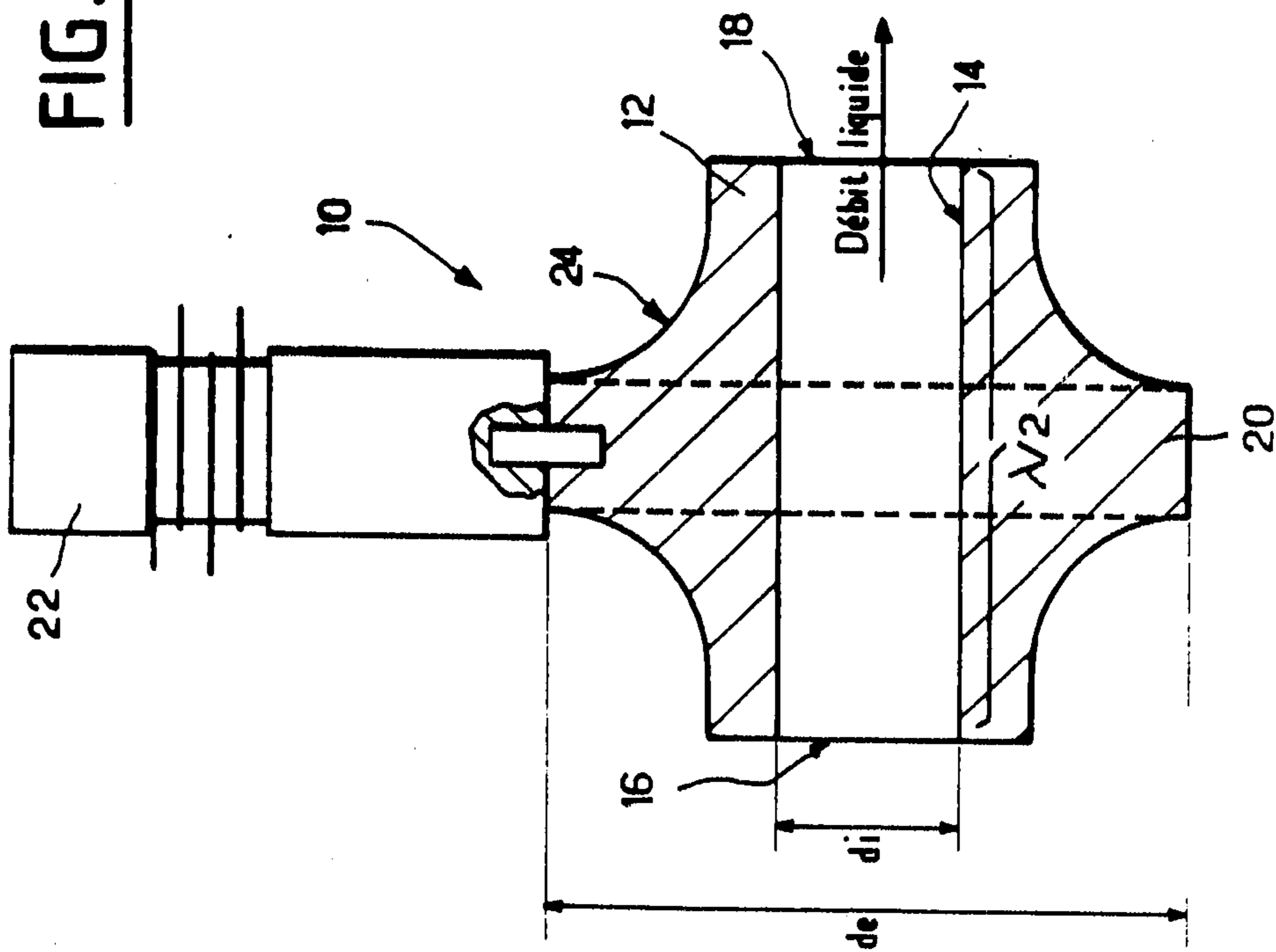
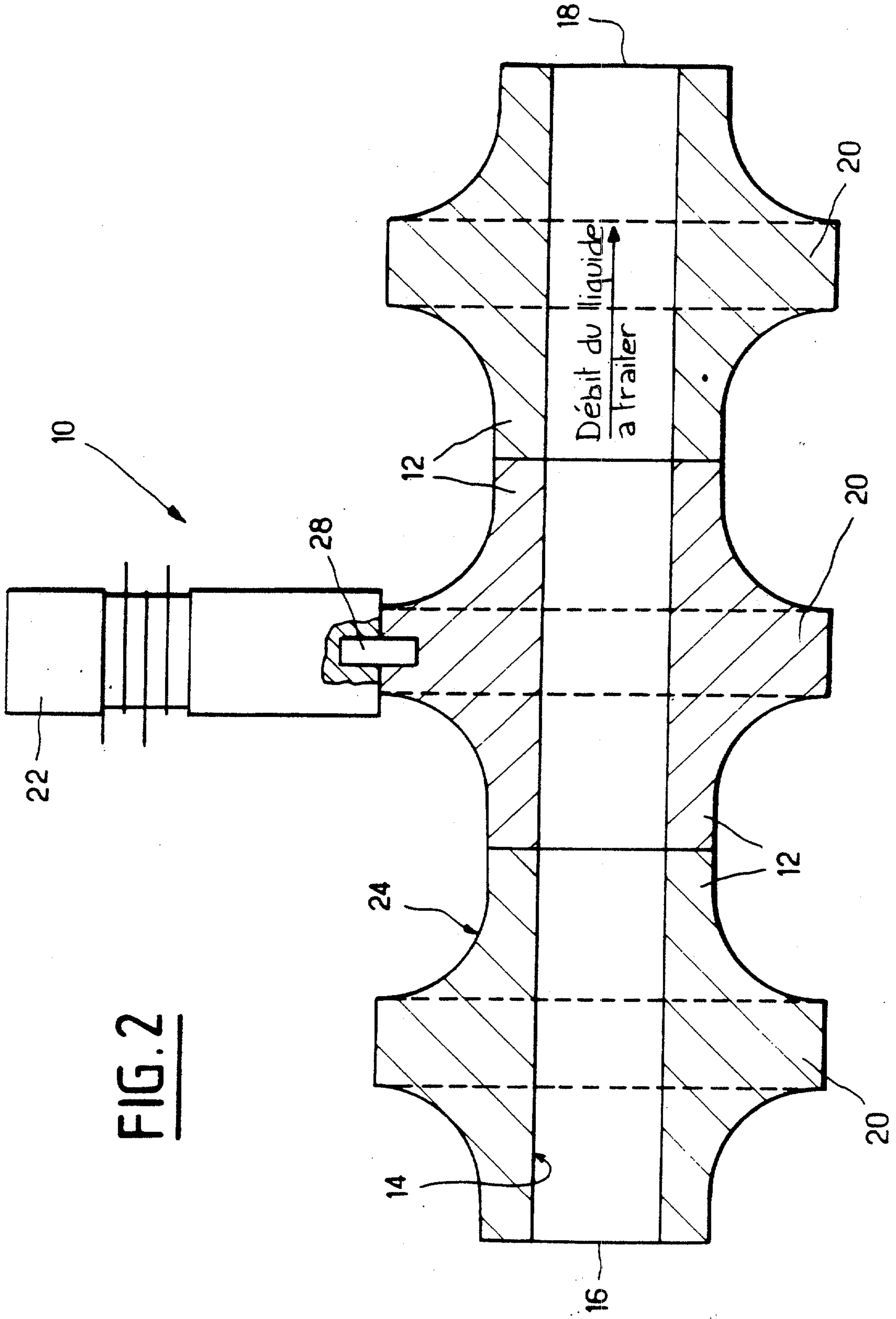


FIG.1A





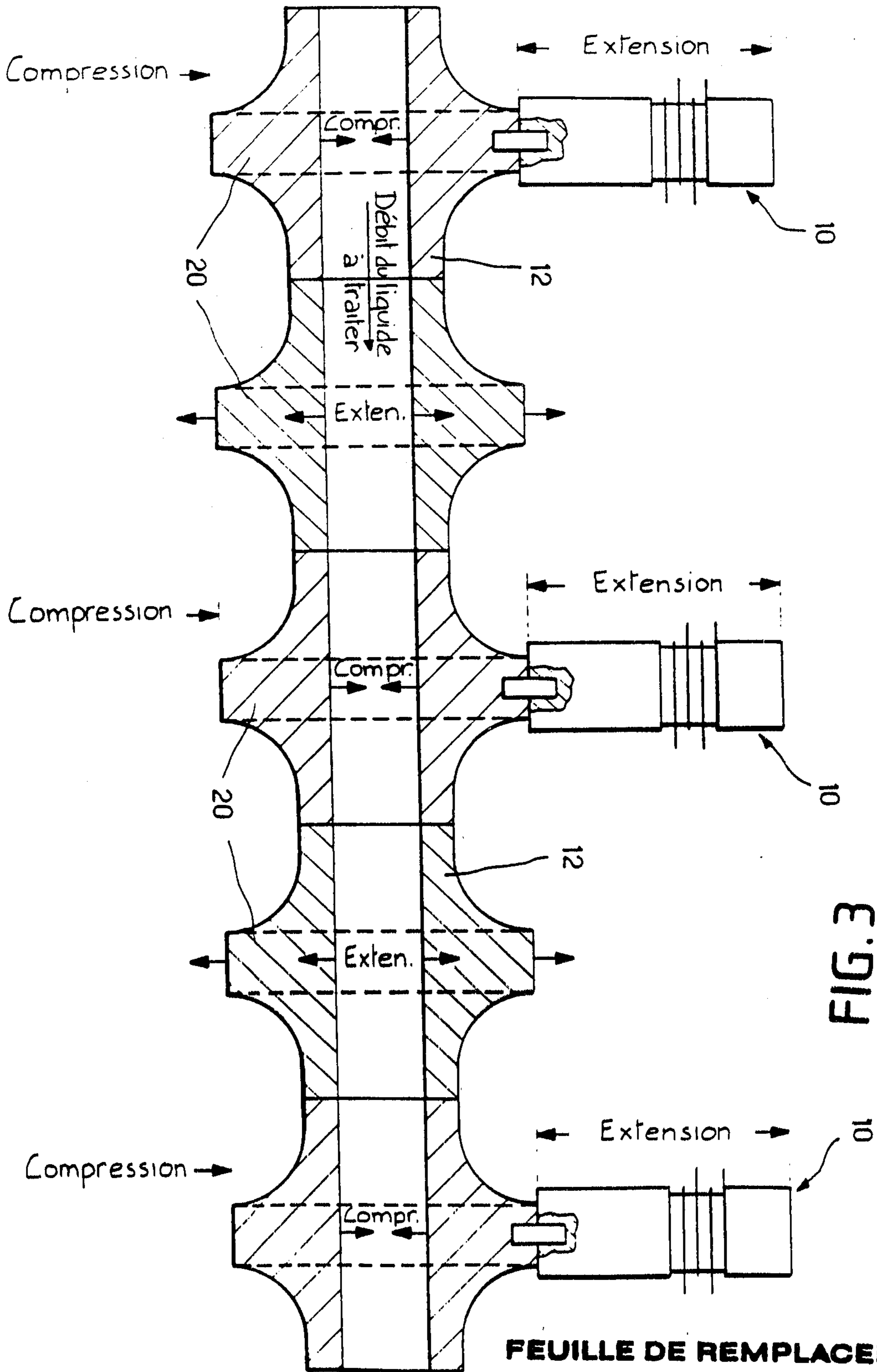
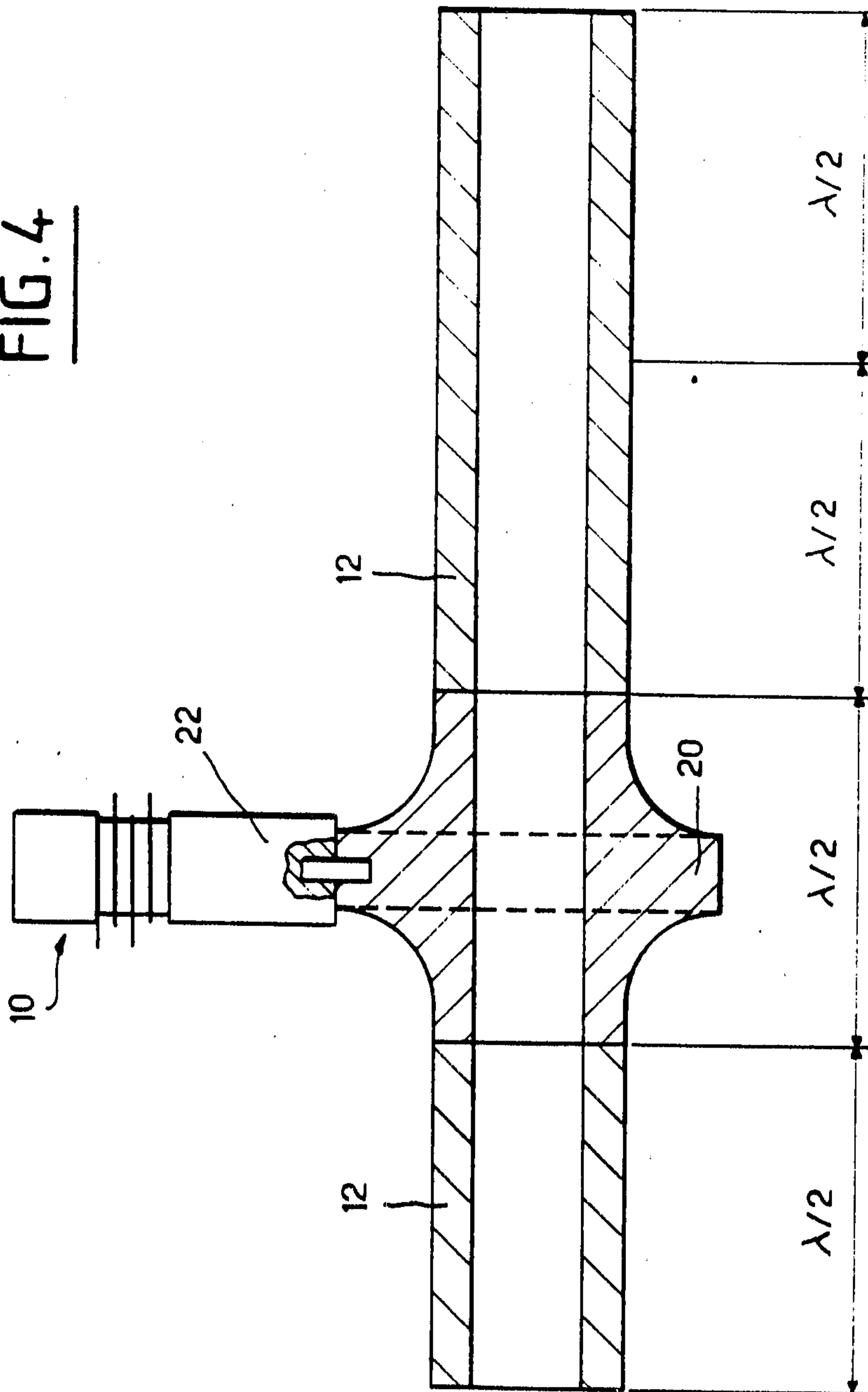


FIG. 3

FIG. 4



2100571

5 / 7

FIG. 5

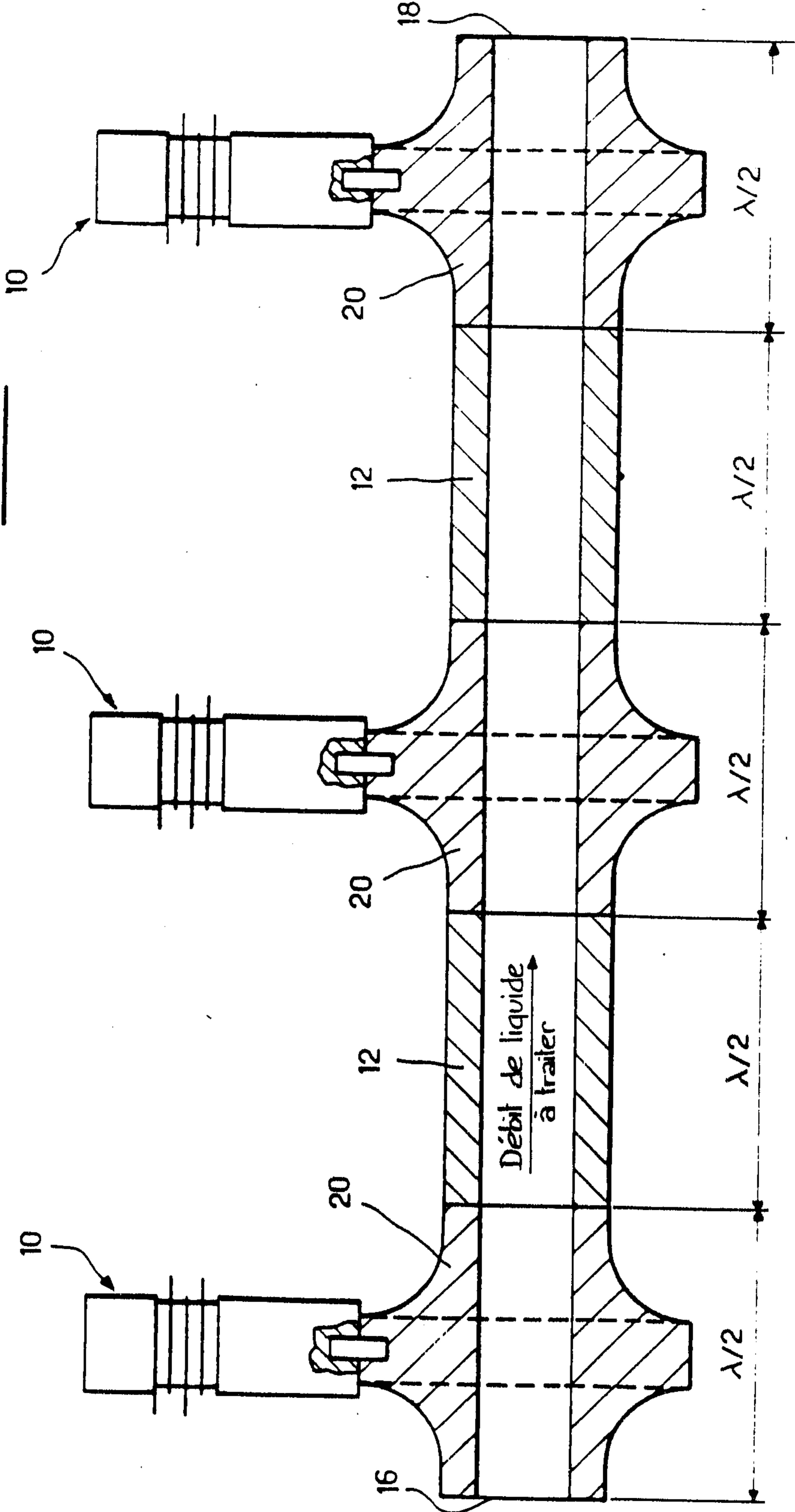


FIG. 6A

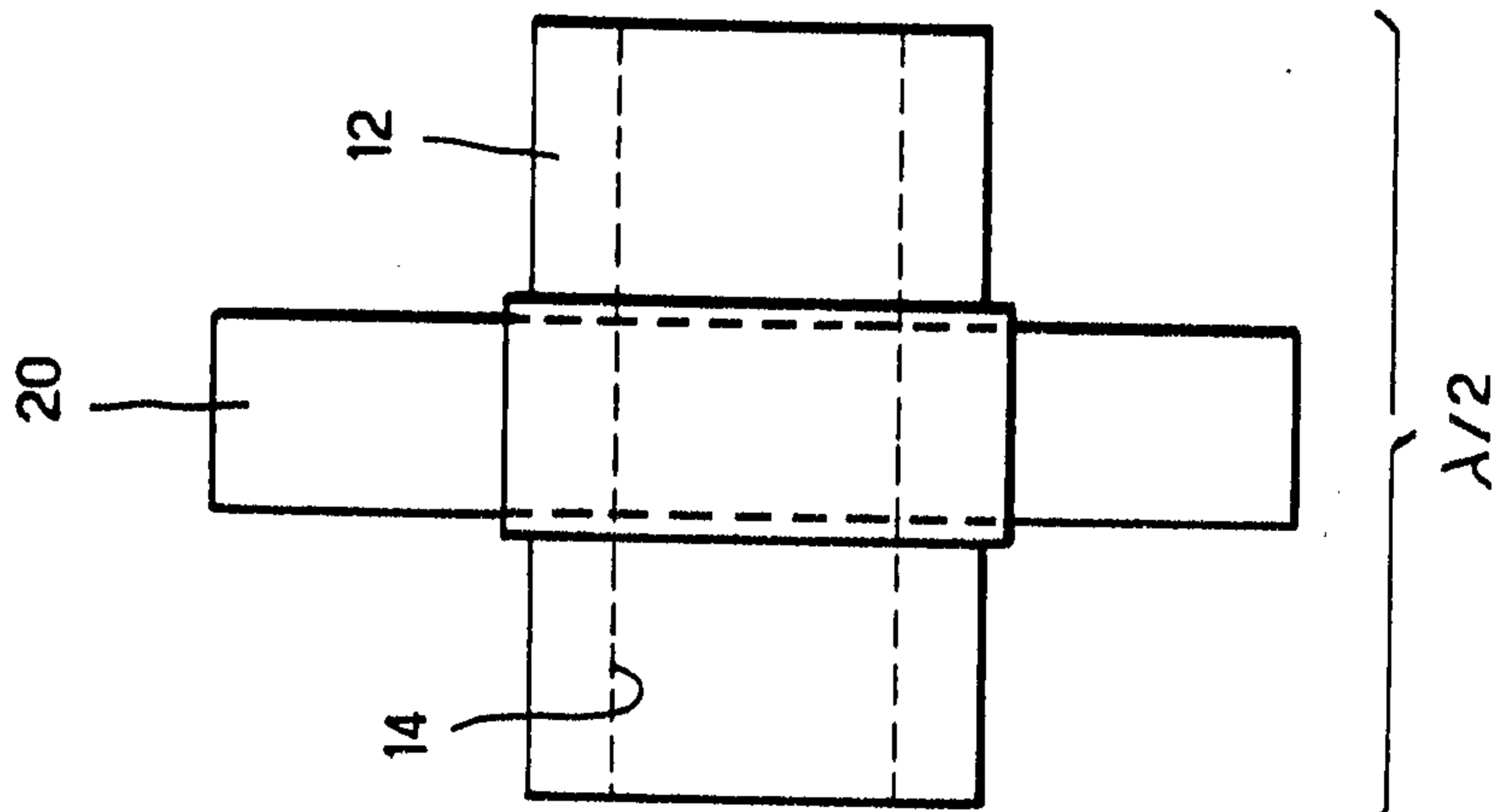


FIG. 6B

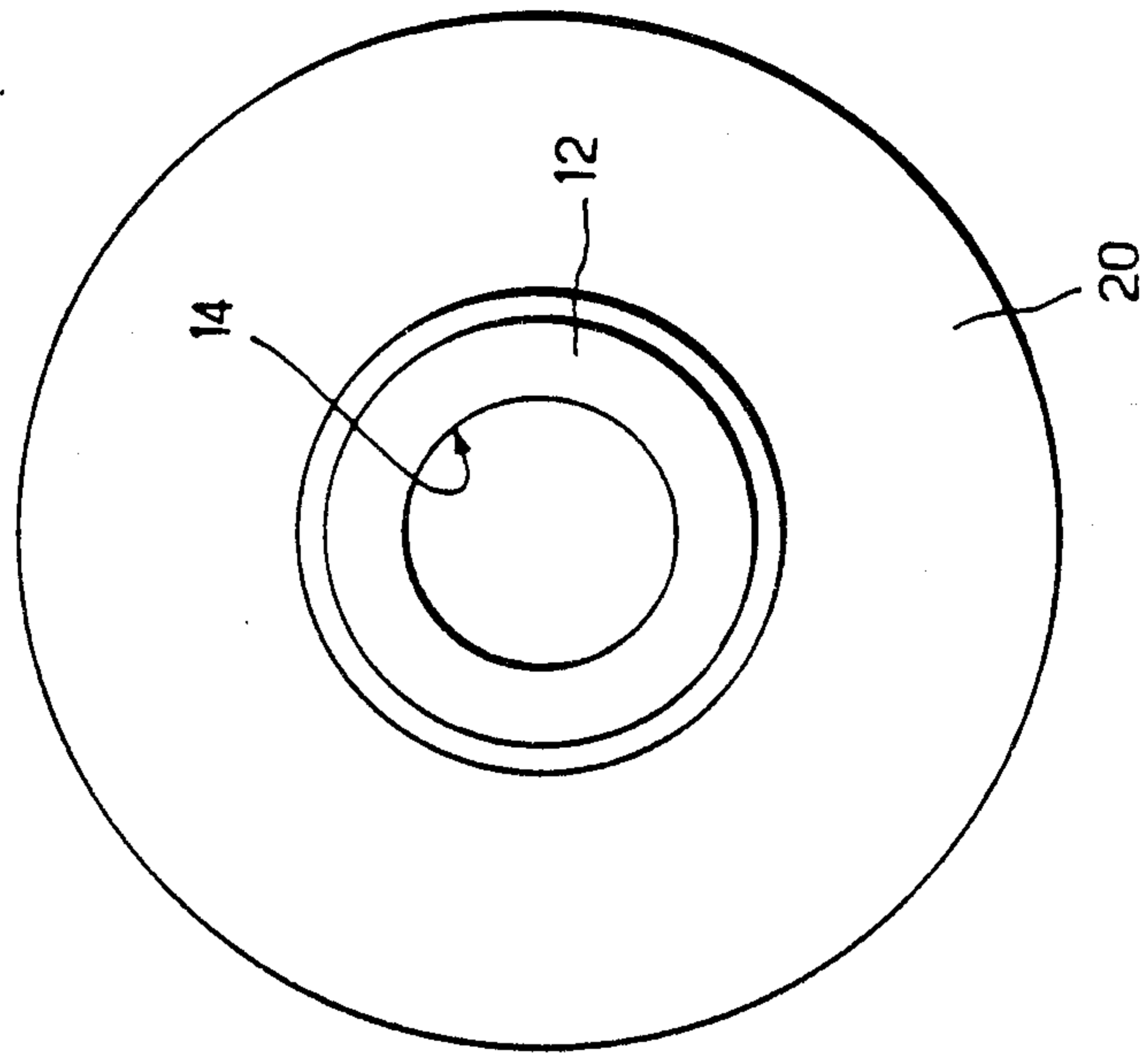


FIG. 7

