

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

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

2 991 402

②1 N° d'enregistrement national : **12 01519**

⑤1 Int Cl⁸ : **F 04 C 2/107 (2013.01)**

⑫ **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

②2 Date de dépôt : 29.05.12.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 06.12.13 Bulletin 13/49.

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) : BRATU CHRISTIAN — FR.

⑦2 Inventeur(s) : BRATU CHRISTIAN.

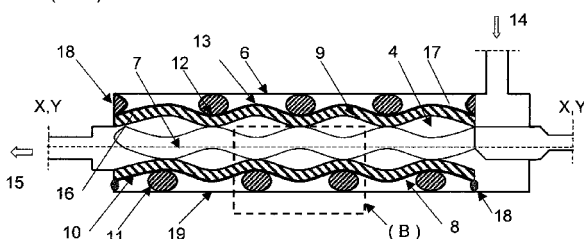
⑦3 Titulaire(s) : BRATU CHRISTIAN.

⑦4 Mandataire(s) : CABINET PLASSERAUD.

⑤4 **POMPE A CAVITES PROGRESSIVES.**

⑤7 L'invention concerne une pompe à cavités progressives (6) comportant un carter (19), un stator hélicoïdal (8) comprenant un cylindre hélicoïdal (10) et un rotor hélicoïdal (7) propre à tourner à l'intérieur dudit cylindre hélicoïdal (10).

Le stator hélicoïdal (8) comporte en outre au moins un compensateur (11) agencé dans ledit carter (19), entre le carter (19) et ledit cylindre hélicoïdal (10); ledit cylindre hélicoïdal (10) et ledit compensateur (11) étant propres à se déformer selon une direction perpendiculaire à l'axe longitudinal (X-X) du carter.



FR 2 991 402 - A1



POMPE A CAVITES PROGRESSIVES

La présente invention porte sur une architecture de
5 pompe volumétrique de type à cavités progressives permettant
l'augmentation significative de la fiabilité et des
performances de la pompe en production.

La pompe à cavités progressives - désignée également ci-
10 après par l'abréviation PCP - a été inventée par René Moineau
en 1930 et le fonctionnement des PCP industrielles utilisées
actuellement correspond aux principes de base.

Afin de décrire l'architecture de la PCP selon la
15 présente invention, on commence par montrer le fonctionnement
de la PCP traditionnelle en soulignant les processus qui
conditionnent la fiabilité et les performances de cette
pompe.

Ensuite, on présente la PCP selon l'invention ainsi que
20 son fonctionnement et sa capacité d'améliorer la fiabilité et
les performances en production.

L'architecture de la PCP traditionnelle comporte un
rotor métallique hélicoïdal à l'intérieur d'un stator
hélicoïdal, élastique (en élastomère) ou rigide (métallique,
25 en matériaux composites).

La figure 2A est une section longiligne d'une PCP 1
traditionnelle, avec stator hélicoïdal élastique, selon
l'état de la technique. La figure 2B est une vue agrandie de
l'encadré B illustré sur la figure 2A.

30 Comme visible sur les figures 2A et 2B, la PCP
traditionnelle 1 avec stator élastique est constituée d'un
rotor métallique hélicoïdal 2 tournant à l'intérieur d'un
stator hélicoïdal 3, généralement en élastomère, contenu dans
un carter 5. La géométrie de la PCP conduit à un ensemble de
35 cavités isolées 4 de volume constant, définies entre le rotor
2 et le stator 3, que le rotor 2 déplace de l'aspiration ou

entrée (basse pression) vers le refoulement ou sortie (haute pression).

En ce sens la PCP est une pompe volumétrique, capable
5 d'assurer le transport des divers produits : liquides plus ou moins visqueux, mélanges polyphasiques (liquide, gaz, particules solides).

Le stator 3, en élastomère, présente une épaisseur radiale H1 au niveau de ses parties concaves et une épaisseur
10 radiale H2 au niveau de ses parties convexes. Par exemple, le stator 3 de diamètre extérieur de 7 cm comporte les épaisseurs H1 de 2,5 cm et H2 de 1,5 cm.

Pour s'assurer que la PCP 1 comprime les fluides (liquides et gaz) avec une quasi-étanchéité entre les cavités
15 4, le rotor 2 en rotation hélicoïdale exerce une forte compression sur l'élastomère du stator 3. Compte tenu des risques de dommage sur le stator 3, la fiabilité des PCP est le problème majeur de l'application industrielle de ces pompes.

Par exemple, l'industrie pétrolière utilise les PCP dans
20 les puits profonds, pour pomper les mélanges d'huile, d'eau et de gaz, chargés de particules solides. Dans les conditions de pompage au fond du puits, l'élastomère du stator 3 soumis aux processus thermiques, chimiques et mécaniques complexes
25 (pression et forces dynamiques), se dilate et augmente ainsi les forces exercées par le rotor 2 sur le stator 3.

En conséquence, la durée de fonctionnement en production des PCP traditionnelles se réduit considérablement.

A l'aide du schéma des figures 2A et 2B on peut décrire
30 le comportement du stator 3 de la PCP traditionnelle, soumis aux forces exercés par le rotor 2 en mouvement hélicoïdal.

Le fonctionnement de la PCP 1 traditionnelle comporte un contact serré, par interférence entre le rotor 2 et le stator 3 en élastomère, qui cumule deux fonctions :

- 5 - la relative étanchéité nécessaire au pompage des cavités 4, de l'aspiration (basse pression) au refoulement (haute pression)
 - la concentration et la transmission des forces à travers le
- 10 stator 3 vers le carter 5.

Ainsi, afin de limiter les fuites entre les cavités 4, le rotor 2 exerce une force de compression P_1 sur le stator 3, qui se déforme d'une hauteur h_1 , généralement appelée

15 interférence, sur une longueur de l'interférence de L_1 . Dans le cas mentionné précédemment, la longueur L_1 est d'environ 4 cm.

Par conséquent, l'interférence h_1 entre le rotor 2 et le stator 3 assure une quasi-étanchéité des cavités 4, limitant

20 ainsi les fuites.

En même temps, le mouvement hélicoïdal du rotor 2 engendre une force de cisaillement Q_1 sur le stator 3. Plus l'interférence h_1 est grande, plus les forces de compression P_1 et les forces de cisaillement Q_1 sont importantes, et le

25 risque de dommage sur le stator 3 est grand.

En pratique, on adopte une interférence initiale h_1 entre le rotor 2 et le stator 3 ; c'est le résultat d'un compromis entre des efforts acceptables et une relative étanchéité limitant les fuites. Par exemple, pour le stator 3

30 de diamètre extérieur de 7 cm , mentionné précédemment , on adopte une interférence initiale h_1 de 0,5 mm.

Cependant, compte tenu des conditions au fond d'un puits pétrolier, le stator 3 subit des changements entraînant

l'augmentation des épaisseurs H1 et H2 du stator 3 et de l'interférence h1 entre le rotor 2 et le stator 3.

Plusieurs phénomènes peuvent conduire à l'augmentation
5 des épaisseurs H1 et H2 du stator 3 et de l'interférence h1.

- Tout d'abord, les processus thermodynamiques engendrent la dilatation du stator 3. En particulier,

- les produits pétroliers au fond du puits ont souvent des températures élevées,

10 - la compression du gaz dans la PCP entraîne la montée de la température, notamment dans la partie proche du refoulement de la pompe (hautes pressions),

- le frottement entre le rotor 2 et le stator 3 conduit aussi à l'augmentation de la température,

15 - la forte épaisseur H1 du stator 3 limite l'évacuation de la chaleur vers l'extérieur, ce qui contribue encore à la dilatation du stator 3.

- La réaction chimique de l'élastomère du stator 3 avec les fluides pompés (liquides et gaz) engendre souvent le
20 gonflement du stator 3.

- Compte tenu de la pression dans la pompe, la présence du gaz conduit au gonflement du stator 3 ; en effet, le gaz sous pression pénètre dans l'élastomère et agit sur le stator 3 lors des variations de pression dans la pompe.

25 • Enfin, le mouvement hélicoïdal et les vibrations du rotor 2 engendrent des forces dynamiques sur le stator 3, en fonction entre autres de l'interférence h1.

Dans ces conditions l'interférence h1 est le paramètre déterminant dans l'équilibre entre l'étanchéité et les forces
30 de contact entre le rotor 2 et le stator 3.

L'analyse de l'impact de l'interférence h1 sur les forces de compression P1 et de cisaillement Q1 montre le risque de dommage sur le stator 3.

Pour ce faire, on adopte les notations :

- E, le module d'élasticité de l'élastomère (stator 3)
- R, le rayon du rotor 2 (figure 2A)
- 5 - C, les constantes
- V, la vitesse de rotation du rotor 2 (tours / minute).

En général, on désigne par les fonctions $f(V)$ l'influence de la vitesse V de rotation du rotor 2, sur les forces de compression P1 et de cisaillement Q1, et sur l'interférence h1 entre le rotor 2 et le stator 3.

Ainsi, la formulation analytique met en évidence la corrélation entre l'interférence h1 et les forces de compression P1 et de cisaillement Q1 ; afin de faciliter l'interprétation, les autres paramètres sont regroupés.

15 Comme visible sur la figure 2B, la force de compression P1 exercée par le rotor 2 engendre l'interférence h1 avec le stator 3.

Le modèle visco-élastique (Bowden) conduit aux expressions (1, 2), reliant la force de compression P1 et l'interférence h1 :

$$P1 = C1.f1 (V) . h1^{3/2} . E.R^{1/2} \quad (1)$$

$$h1 = C2 . f2 (V) . (P1 / E)^{2/3} . R^{-1/3} \quad (2)$$

25 L'approximation linéaire (modèle élastique, Boussinesq) facilite l'interprétation (les expressions 3,4)

$$P1 = C3 . f3 (V) . h1 . R . E \quad (3)$$

$$h1 = C4 . f4 (V) . P1 / (R . E) \quad (4)$$

30 Les relations (1,2,3,4) montrent que les forces de compression P1 sont importantes quand l'interférence h1 est grande. De plus, ces forces sont concentrées dans un volume situé dans le proche voisinage de la surface de contact S1 (figure 2B).

Par conséquent, le gonflement du stator 3 augmente l'interférence h_1 et conduit à des forces de compression P_1 importantes concentrées au niveau de surfaces de contact S_1 .
 5 Ces surfaces de contact S_1 , illustrées sur les figures 2A et 2B, sont des surfaces de la face interne de l'élastomère du stator 3 positionnées en regard d'une partie convexe du rotor 2.

Les relations (3,4) décrivent la compression élastique
 10 (Boussinesq) du stator 3 sous l'effet des forces de compression P_1 . Si on note la raideur du stator en élastomère K_s , on constate que le comportement du stator 3 est équivalent à la réponse d'un ressort élastique, à vitesse du rotor V constante :

$$15 \quad P_1 = K_s \cdot h_1 \quad h_1 = P_1 / K_s \quad K_s = C_3 \cdot E \cdot R \quad (5)$$

Le mouvement hélicoïdal du rotor 2 engendre une force de cisaillement Q_1 qui dépend aussi de l'interférence h_1 (figure
 20 2B). L'approche élasto-plastique (Hill) conduit à la relation

$$Q_1 = C_5 \cdot f_5(V) \cdot h_1 (1 - h_1/H_1) \cdot E \cdot R \quad (6)$$

Les forces de cisaillement Q_1 exercées sur le stator 3 sont
 25 fonction de l'interférence h_1 , $Q_1 = F(h_1)$; plus l'interférence h_1 est grande, plus le risque d'endommager le stator est fort.

Or comme mentionné précédemment, les PCP traditionnelles
 1 doivent comporter une interférence initiale h_1 de l'ordre
 30 de 0,5 mm pour assurer l'étanchéité des cavités 4. Compte tenu de conditions de production au fond du puits pétrolier (thermodynamiques - chimiques- dynamiques), le stator subit l'augmentation des épaisseurs H_1 et H_2 de l'ordre 5 - 10 %, et ,en fonction des caractéristiques de l'élastomère,
 35 l'interférence augmente de l'ordre de 1 mm ce qui signifie qu'elle est multipliée par 2.

Dans ces conditions les forces de pression P_1 et les forces de cisaillement Q_1 sont multipliées par 2 aussi.

Quant aux forces dynamiques exercées par la rotation hélicoïdale du rotor 2 sur le stator 3, elles dépendent de la vitesse V de rotation de la pompe; pour produire (les débits et les pressions) dans des conditions économiques, les PCP tournent à la vitesse de 200 - 500 tours / minute. Compte tenu des conditions de pompage dans le puits, la durée de fonctionnement du stator 3 en élastomère se réduit significativement ; l'expérience montre que la moyenne est de 1 an, mais on rencontre des stators endommagés après 1-3 mois de fonctionnement.

Les vibrations du rotor 2 dépendent de la fréquence propre du rotor 2 et de la vitesse de rotation de la pompe et elle peuvent être très importantes, notamment à la résonance entre le rotor 2 et la vitesse (fréquence) de rotation . L'amplitude des vibrations du rotor 2, perpendiculaires à l'axe X-X , engendre l'augmentation de l'interférence h_1 , et par conséquent, les forces de compression P_1 et de cisaillement Q_1 exercées sur le stator 3 augmentent aussi.

Ainsi, le mode de fonctionnement de la PCP traditionnelle 1 concentre les efforts au niveau du contact rotor 2 - stator 3, et entraîne souvent la dégradation du stator 3. Du point de vue pratique, l'opérateur pétrolier est obligé de sortir la pompe endommagée du puits et de la remplacer; c'est une opération longue, pendant laquelle le puits ne produit plus, dont les conséquences économiques sont importantes.

Plus récente, la PCP 24 comportant un stator hélicoïdal rigide (métallique, matériaux composites) est présentée, en section longiligne dans la figure 6. Cette pompe comporte un rotor hélicoïdal 7 tournant à l'intérieur du stator hélicoïdal rigide 25; entre le rotor 7 et le stator 25 il y a un jeu 26.

Du point de vue pratique, le stator 25 fabriqué dans un matériau rigide (métal, matériaux composite) est monté à l'intérieur du carter 19; ensuite, on introduit le rotor hélicoïdal 7 à l'intérieur du stator 25 rigide, avec un jeu 26. L'architecture de cette PCP est semblable à celle de la PCP traditionnelle; la différence consiste dans le fait qu'il y a un jeu 26 entre le rotor 7 et le stator 25 rigide.

Cette PCP 24 est utilisée notamment pour le pompage des liquides visqueux (huiles lourdes); ainsi, le rotor 7 transporte le liquide visqueux et un film liquide se forme dans le jeu 26 entre le rotor 7 et le stator rigide 25. En fonction du mode de fabrication, ce jeu est inférieur à 1 mm. Par conséquent, sans contact entre le rotor 7 et le stator 25, la PCP 24 pompe des liquides visqueux (huiles lourdes).

Compte tenu du fait qu'il y a ce jeu 26, la rotation du rotor hélicoïdal 7 à des vitesses de 200 - 500 tours/minute, engendre des vibrations (résonance, vibrations instables) et des chocs entre le rotor 7 et le stator 25.

Par exemple, si les fréquences propres du rotor 7 et/ou du stator rigide 25 sont du même ordre de grandeur que celle de la vitesse de rotation (vitesses de 200-500 tours par minute), les forces dues aux vibrations et chocs sont multipliées par 6-8; le rotor 7 et le stator 25 ne peuvent pas résister longtemps à ces forces.

La réponse dynamique de la PCP 24 avec stator rigide 25 risque d'endommager le rotor 7 et/ou le stator 25. Dans ces conditions, l'opérateur pétrolier doit procéder au remplacement de la pompe, ce qui est une opération lourde avec des conséquences économiques importantes.

Le but de la présente invention est de proposer une PCP plus fiable, présentant une durée de fonctionnement plus longue, de manière à réduire les coûts de production. A cet effet, la présente invention a pour objectif une nouvelle architecture de pompe à cavités progressives (PCP) permettant

d'augmenter notablement la fiabilité et les performances de la pompe.

A ces fins, la présente invention propose une pompe à cavités progressives comportant :

5 - un carter de forme cylindrique d'axe longitudinal; ledit carter étant pourvu, à une extrémité, d'une ouverture d'entrée et à son extrémité opposée, d'une ouverture de sortie,

10 - un stator hélicoïdal contenu à l'intérieure dudit carter; ledit stator hélicoïdal comprenant un cylindre hélicoïdal ayant un axe central confondu avec l'axe longitudinal dudit carter;

15 - un rotor hélicoïdal propre à tourner à l'intérieur dudit cylindre hélicoïdal pour déplacer un fluide de l'ouverture d'entrée vers l'ouverture de sortie,

caractérisée en ce que ledit stator hélicoïdal comporte en outre au moins un compensateur agencé dans ledit carter, entre le carter et ledit cylindre hélicoïdal; ledit cylindre hélicoïdal et ledit compensateur étant propres à se
20 déformer selon une direction perpendiculaire audit axe longitudinal.

Ainsi, les dits compensateurs sont des profils ouverts ou fermés déformables dont la forme, les dimensions et les matériaux utilisés assurent l'élasticité nécessaire à la
25 compensation des déformations du dit stator hélicoïdal .

Selon des modes de réalisation nullement limitatifs,

- ledit stator hélicoïdal comporte une couche élastique fixée sur une face intérieure dudit cylindre hélicoïdal.

30 - ladite couche élastique présente une épaisseur comprise entre 0.5 centimètre et 2 centimètres, en particulier de 0.5 à 1,5 centimètre.

35 - ledit rotor hélicoïdal est propre à tourner à une fréquence de rotation, et en ce que ledit au moins compensateur est apte à découpler les fréquences propres de l'ensemble rotor hélicoïdal et stator hélicoïdal de la fréquence de rotation du rotor hélicoïdal.

- ledit au moins compensateur est défini par un coefficient de raideur (K_0) qui satisfait la relation suivante :

$$K_0 \leq (1/9) \cdot M \cdot W^2$$

Dans laquelle :

- 5 - W est la fréquence de rotation du rotor hélicoïdal,
 - M est la masse totale du rotor hélicoïdal et du stator hélicoïdal.
- ledit au moins compensateur est un profil fermé.
- ledit au moins compensateur présente une section de forme
10 elliptique.
- ledit au moins compensateur est un profil ouvert.
- ledit au moins compensateur est agencé sur une portion concave dudit cylindre hélicoïdal.
- ledit au moins compensateur est agencé sur une portion
15 convexe dudit cylindre hélicoïdal.
- ledit stator hélicoïdal comporte plusieurs compensateurs régulièrement répartis tous le long du carter.
- ledit stator hélicoïdal comporte un unique compensateur de forme hélicoïdale agencé autour dudit cylindre hélicoïdal.
- 20 - lesdits compensateurs sont fabriqués dans un métal ou dans un matériau composite.

L'invention concerne également l'application d'une pompe telle que mentionnée ci-dessus au pompage des fluides,
25 lesdits fluides étant liquides, liquides visqueux ou gaz, et au pompage de mélanges polyphasiques constitués de liquides et de gaz avec des particules solides.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la
30 description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple, non limitative, en se référant aux dessins sur lesquels:

-La figure 1A est une section axiale de la pompe PCP 6 selon un premier mode de réalisation de la présente
35 invention.

- La figure 1B est une vue agrandie de l'encadré B illustré sur la figure 1A.

-La figure 2A est une section axiale d'une pompe ayant un stator en élastomère de la PCP 1 traditionnelle, connue dans l'état de la technique.

- La figure 2B est une vue agrandie de l'encadré B illustré sur la figure 2A.

- La figure 2C est une section axiale d'une partie de la pompe illustrée sur la figure 1.

- La figure 2D est une vue agrandie de l'encadré D illustré sur la figure 2C.

- La figure 3A est une vue similaire à la vue illustrée sur la figure 2D pour une PCP 6 (illustrée sur les figures 1A et 1B) ayant une interférence initiale h_3 , entre le rotor 7 et la couche élastique 9, avant la mise en production de la pompe, ainsi qu'un schéma représentant un système à ressort équivalent audit ensemble couche élastique 9-compensateur 11.

- La figure 3B est une vue identique à la vue illustrée sur la figure 3A après la mise en production de la pompe entraînant l'augmentation de l'interférence $h'_3 > h_3$, ainsi qu'un schéma représentant un système à ressort équivalent audit ensemble couche élastique 9- compensateur 11.

- La figure 4 est une section axiale d'une partie d'une PCP selon un second mode de réalisation de l'invention.

- La figure 5 est une section axiale d'une partie d'une PCP selon un troisième mode de réalisation de l'invention.

- La figure 6 est une section axiale d'une partie d'une PCP comportant un stator rigide (métallique , matériaux composites), connue dans l'état de la technique.

- La figure 7 est une section axiale d'une partie d'une PCP selon un quatrième mode de réalisation de l'invention.

La pompe PCP 6, selon un premier mode de réalisation de la présente invention illustré sur les figures 1A et 1B,

comporte un carter 19 de forme cylindrique d'axe longitudinal X-X, un stator hélicoïdal 8 contenu dans le carter 19 et un rotor hélicoïdal 7 propre à tourner dans le stator hélicoïdal 8.

5 Le carter 19 est pourvu, à une de ses extrémités d'une ouverture d'entrée 14 et à son extrémité opposée, d'une ouverture de sortie 15.

Le rotor hélicoïdal 7 est propre à tourner à l'intérieur du stator hélicoïdal 8 à une vitesse prédéfinie ci-après
10 appelée fréquence de rotation, pour déplacer un fluide de l'ouverture d'entrée 14 vers l'ouverture de sortie 15.

Le stator hélicoïdal 8, comporte une couche élastique 9 de faible épaisseur, généralement en élastomère, un cylindre hélicoïdal 10 ayant un axe central Y-Y confondu avec l'axe
15 longitudinal X-X du carter 19, et des compensateurs 11 propres à se déformer pour compenser les variations dimensionnelle radiale du cylindre hélicoïdal 10.

Le cylindre hélicoïdal 10 est en général réalisé en métal ou en matériaux composites. Il est propre à transmettre
20 les forces exercées par le rotor 7 sur la couche élastique 9, vers les compensateurs 11.

Le cylindre hélicoïdal 10 présente une face 17 en regard du carter 19, ci-après appelée face externe 17 et une face 16 en regard du rotor 7, ci après appelée face interne 16.

25 Le cylindre hélicoïdal 10 comporte successivement un resserrement de diamètre suivi d'un élargissement de diamètre formant sur la face externe 17 et sur la face interne 16 du cylindre hélicoïdal 10 une succession de portions concaves 12 alternées à des portions convexes 13.

30 La couche élastique 9 présente une épaisseur constante comprise entre 0.5 centimètre et 2 centimètres, et de préférence comprise entre 0.5 centimètre et 1.5 centimètre.

La couche élastique 9 est fixée sur la face interne 16 du cylindre hélicoïdal 10. La fixation peut se faire par
35 adhésion, par collage ou selon une méthode de fabrication à chaud et/ou par des dispositifs mécaniques d'accrochage.

Les compensateurs 11 sont des profils déformables, élastiques. Les compensateurs 11 sont propres à se déformer selon une direction perpendiculaire audit axe longitudinal (X-X) pour ,d'une part compenser la dilatation de la couche élastique 9 et d'autre part réduire les vibrations exercées par le rotor hélicoïdal 7 sur la couche élastique 9, lorsque le rotor hélicoïdal 7 tourne dans le stator hélicoïdal 8.

Lorsque les compensateurs 11 compensent la dilatation de la couche élastique 9, la dimension des compensateurs 11 se réduit selon une direction perpendiculaire audit axe longitudinal (X-X) pour compenser la dilatation de la couche élastique 9, du cylindre hélicoïdal 10 et du rotor hélicoïdal 7 pendant toute la durée au cours de laquelle la pompe est soumise à des conditions thermiques, chimiques et pression, qui occasionnent cette dilatation.

Lorsque les compensateurs 11 réduisent les vibrations exercées par le rotor hélicoïdal 7 sur la couche élastique 9, la dimension des compensateurs 11 va successivement se réduire et s'élargir selon une direction perpendiculaire audit axe longitudinal (X-X) à une fréquence égale à la fréquence de rotation du rotor hélicoïdal 7, pour compenser les vibrations du rotor 7.

Selon le premier mode de réalisation de l'invention, les compensateurs 11 sont des profils fermés, élastiques. Par exemple, les compensateurs 11 ont la forme d'une coque en aluminium remplie d'air.

En variante, les compensateurs 11 sont constitués par une coque en aluminium contenant du caoutchouc.

Selon une autre variante, les compensateurs 11 sont des coques en matériaux composites.

Les compensateurs 11 sont agencés dans le carter 19 entre le cylindre hélicoïdal 10 et le carter 19. En particulier, selon le premier mode de réalisation de l'invention illustré sur les figures 1A et 1B, les compensateurs 11 sont fixés contre la paroi interne du carter

19 et contre les portions concaves 12 du cylindre hélicoïdal 10.

Avantageusement, des compensateurs 18 en forme d'anneau entourant le cylindre hélicoïdal 10 sont également fixés entre chaque extrémité du cylindre hélicoïdal 10 et chaque extrémité du carter 19.

Les compensateurs 11,18 sont fixés au carter 19 et au cylindre hélicoïdal 10, par exemple par des dispositifs de fixation ou par une soudure.

Le dimensionnement, la forme, la géométrie et l'épaisseur des compensateurs 11 ainsi que les matériaux constitutifs des compensateurs 11 sont choisis de manière à :

- compenser les dilatations de la couche élastique 9 (élastomère), du rotor 7 et du cylindre hélicoïdal 10
- réduire les vibrations générées par le couplage entre la fréquence de rotation du rotor hélicoïdal 7 et la fréquence propre de l'ensemble stator hélicoïdal 8 - rotor 7.

Par exemple, un compensateur 11 ayant une section de forme elliptique, dont les axes mesurent 1,2 cm et 4 cm, fabriqué dans une plaque en aluminium d'épaisseur 2 mm, assurent une réduction de 70 % des forces exercées par le rotor 7 sur la couche élastique 9. Un tel compensateur 11 ayant une section de forme elliptique peut être utilisé dans un carter 19 ayant un diamètre intérieur mesurant 7 cm (mentionné précédemment).

Dans ce carter 19, l'épaisseur de la couche élastique 9 en élastomère peut par exemple mesurer 1,5 cm et le cylindre hélicoïdal 10 peut être réalisé dans une plaque métallique ayant une épaisseur d'environ 2 mm.

Par conséquent, les compensateurs 11 agencés conformément à l'invention, assurent la capacité de la pompe à faire face aux conditions thermodynamiques - chimiques - dynamiques de fonctionnement de la pompe et d'améliorer ainsi la fiabilité et les performances de la PCP 6.

Afin d'évaluer l'efficacité des compensateurs 11, on compare la PCP 6 selon l'invention illustrée sur les figures

2C et 2D avec la PCP 1 traditionnelle illustrée sur les figures 2A et 2B.

Comme visible sur les figures 2A et 2B, le stator en élastomère 3 de la PCP 1 traditionnelle est soumis aux processus thermodynamique - chimique - dynamiques, qui entraînent le gonflement de la forte épaisseur $H1$, et l'augmentation de l'interférence $h1$.

Ce processus conduit ainsi à des forces de compression $P1$ et de cisaillement $Q1$ importantes, s'exerçant sur la surface de contact $S1$, entre le rotor hélicoïdal 2 et le stator hélicoïdal 3. Ce qui conduit au risque de dégradation du stator hélicoïdal 3, en élastomère.

Comme visible sur figures 2C et 2D, la PCP 6 selon la présente invention, comporte :

- la couche élastique 9 de faible épaisseur $H3$, par exemple de l'ordre de 1,5 cm, généralement en élastomère
- une interférence ente le rotor hélicoïdal 7 et la couche élastique 9, référencée ci-après $h3$
- le cylindre hélicoïdal 10 sur lequel est fixée la couche élastique 9.

Ce cylindre hélicoïdal 10 transmet les forces exercées sur la couche élastique 9 vers les compensateurs 11. Les compensateurs 11 sont capables de compenser la déformation de la couche élastique 9 et de réduire ainsi l'interférence $h3$ et les forces de compression $P2$ et de cisaillement $Q2$. Les compensateurs 11 transmettent les forces au carter 19.

En même temps, les compensateurs 11 contribuent à la réduction des forces dynamiques, engendrées par les vibrations du rotor 7 sur la couche élastique 9. Les propriétés vibratoires des compensateurs 11 dépendent de leur forme, de leur dimensionnement et des matériaux utilisés. Par le choix d'une certaine forme ou l'utilisation d'un certain matériau des compensateurs 11 on contrôle les fréquences propres de l'ensemble rotor 7 - stator hélicoïdal 8, et on évite ainsi la résonance et l'instabilité de la réponse dynamique. Dans ces conditions, les compensateurs 11

réduisent les composantes vibratoires des forces de compression P2 et de cisaillement Q2.

Ainsi, les compensateurs 11 sont aptes à découpler les fréquences propres de l'ensemble rotor hélicoïdal 7 et stator hélicoïdal 8 de la fréquence de rotation du rotor hélicoïdal 7.

Par exemple, il est courant de constater sur champ pétrolier que le rotor 2 de la PCP 1 traditionnelle présente des instabilités lorsqu'il tourne à 300 tours / minute. Pour éviter la dégradation de la PCP 1 traditionnelle engendrée par ces instabilités, l'opérateur pétrolier est obligé de réduire la vitesse de rotation de du rotor 2 à 150 tous/minute, ce qui réduit la production.

Grâce aux compensateurs 11, la PCP 6 stabilise la réponse vibratoire du rotor 7 ce qui conforte sa capacité de produire à 300 tours / minute, assurant ainsi des conditions économiques de production.

Il en résulte que le fonctionnement de la PCP selon la présente invention, réduit les forces de compression P2 et de cisaillement Q2, et améliore ainsi la fiabilité de la PCP 6.

Comme visible sur la figure 3A, avant la mise en production de la pompe, la couche élastique 9 de la PCP 6 présente une épaisseur H3 et une interférence h3 avec le rotor hélicoïdal 7. Le système équivalent mécanique de l'ensemble couche élastique 9 - compensateurs 11 est constitué par deux ressorts ayant des raideurs différentes. Ks est la raideur équivalente de la couche élastique 9 et Ko est la raideur du compensateur 11.

Après la mise en production de la pompe, le processus thermique - chimique- dynamique engendre le gonflement de la couche élastique 9 dont l'épaisseur devient H'3 > H3, ce qui entraîne l'augmentation de l'interférence h'3 > h3.

Comme visible sur la figure 3B, après la mise en production de la pompe; la dimension du compensateur selon une direction perpendiculaire à l'axe X-X se réduit pour compenser l'augmentation de l'interférence.

En conséquence, les compensateurs 11 sont dimensionnés pour compenser le gonflement de la couche élastique 9 et pour réduire les forces s'exerçant sur la couche élastique 9. Leur dimensionnement est choisi de manière à maintenir l'interférence initiale, c'est-à-dire $h'3 \approx h3$. Lorsque cette interférence $h'3$ est maintenue quasi-constante, les forces de contact de l'ensemble rotor hélicoïdal 7 - couche élastique 9 sont maintenues au niveau requis.

Pour ce faire, il faut caractériser l'élasticité de l'ensemble couche élastique 9 - cylindre hélicoïdal 10 - compensateurs 11.

La formule (5) de la réponse du stator en élastomère conduit à la raideur équivalente Ks (figures 3A et 3B),

$$h3 = P2 / Ks \quad Ks = C3 \cdot E \cdot R \quad (7)$$

$$h'3 = P'2 / Ks$$

La déformation Xo du compensateur 11 sous l'effet de la force de compression $P2$ met en évidence la raideur de la structure Ko :

$$P2 = Ko \cdot Xo \quad Ko = C7 \cdot Eo \cdot I / r^3 \quad (8)$$

où Eo et I sont le module d'élasticité et le moment d'inertie du compensateur 11, r est le rayon caractéristique du compensateur 11. Par exemple, dans le cas du compensateur 11 de forme elliptique le rayon caractéristique r est la moyenne des rayons de l'ellipse.

Comme mentionné, après la mise en production de la pompe (figure 3B) le processus thermodynamique - chimique - dynamique engendre le gonflement de la couche élastique 9 ce qui entraîne un changement Δh de l'interférence :

$$h'3 = h3 + \Delta h \quad (9)$$

Les compensateurs 11 selon l'invention, sont choisis de préférence de manière à ce que le gonflement de la couche

élastique 9 soit compensé par la compression ΔX_0 de chaque compensateur 11 :

$$P'^2 = K_0 \cdot (X_0 + \Delta X_0) \quad (10)$$

5 ce qui signifie que Δh est minimal si $h'_3 \approx h_3$:

$$\Delta h = \Delta X_0 \cdot (K_0 / K_s) ;$$

$$K_0 / K_s \Big|_{\min} \longrightarrow \Delta h \min \quad (11)$$

10

et alors l'interférence initiale h_3 est pratiquement maintenue inchangée malgré le gonflement de la couche élastique 9.

15 Les compensateurs 11 compensent les déformations de la couche élastique 9 et les forces exercées sur l'élastomère de la couche élastique 9 restent au niveau initial.

Aussi, le contrôle de la raideur K_0 des compensateurs 11 facilite la maîtrise de la réponse dynamique (notamment les fréquences propres), et évite ainsi la résonance avec les 20 vibrations du rotor 7.

A cette fin, les compensateurs 11 présentent selon la présente invention un coefficient de raideur K_0 qui satisfait la relation suivante :

$$K_0 \leq (1/9) \cdot M \cdot W^2 \quad (12)$$

25

Dans laquelle :

- W est la fréquence de rotation du rotor hélicoïdal 7,
- M est la masse totale du rotor hélicoïdal 7 et du stator hélicoïdal 8.

30 Le choix de la raideur K_0 des compensateurs 11 assure en même temps, la maîtrise des forces de compression et de cisaillement et le contrôle des vibrations.

35 Compte tenu des conditions thermodynamiques - chimiques- dynamiques (vibrations), l'optimisation des compensateurs 11 maintient les forces exercées par le rotor hélicoïdal 7 sur la couche élastique 9 dans la limite de fiabilité requise.

Comme mentionné, la PCP traditionnelle 1 avec stator 3 en élastomère, concentre au niveau de la surface de contact S1 entre le rotor 2 et le stator 3, les deux fonctions : la relative étanchéité et les forces de contact élevés (forces de compression P1 et forces de cisaillement Q1).

La PCP 6 selon la présente invention, dissocie les deux fonctions :

- l'étanchéité est maintenue au niveau du contact rotor hélicoïdal 7 - couche élastique 9,

10 - les forces sont reprises par les compensateurs 11 et transmises au carter 19.

Le fonctionnement de la PCP 6 selon la présente invention conduit à la réduction des forces sur la couche élastique 9 et à l'amélioration de la fiabilité de la pompe.

15 La figure 4 représente une section axiale de la PCP 20 selon un second mode de réalisation de l'invention.

Les éléments identiques ou similaires au premier mode de réalisation de l'invention (figures 1A et 1B) ont été représentés sur la figure 4 avec les mêmes références et ne
20 seront pas décrits une seconde fois.

Selon cette variante de réalisation, les compensateurs 21 sont des profils élastiques ouverts (métalliques ou en matériau composite), chacun placé entre une partie concave 12 du cylindre hélicoïdal 10 et le carter 19.

25 Les compensateurs 21 ouverts sont capables de compenser les déformations de la couche élastique 9 et de transmettre les efforts au carter 19.

Par exemple, pour la PCP de 7 cm de diamètre extérieur, les compensateurs 21 sont des profils en aluminium en forme de U inversé, de 1,2 cm de hauteur et 3 cm de largeur, dont
30 l'épaisseur est de l'ordre de 2mm.

Par exemple, lesdits compensateur 21 présentent une forme de pion creux ayant un sommet et une base élargie; ledit sommet étant agencé contre ledit cylindre hélicoïdal
35 10; ladite base élargie étant fixée contre la face interne dudit carter 19.

La PCP 22 selon le troisième mode de réalisation l'invention est illustrée sur la figure 5.

Les éléments identiques ou similaires au premier mode de réalisation de l'invention (figures 1A et 1B) ont été représentés sur la figure 4 avec les mêmes références et ne seront pas décrits une seconde fois.

En particulier, cette PCP 22 comporte un rotor hélicoïdal 7 tournant à l'intérieur stator hélicoïdal 8, dont les éléments sont :

10 - la couche élastique 9 est fixée sur le cylindre hélicoïdal 10,

- les compensateurs 23 sont des coques élastiques fermés de profil quasi - elliptiques réalisé en métal ou en matériau composite. Ils sont agencés entre la partie convexe 13 du cylindre hélicoïdal 10 et le carter 19. Les compensateurs 23 selon ce mode de réalisation de l'invention sont similaires aux compensateurs 11 selon le premier mode de réalisation de l'invention mais présente une dimension selon un axe perpendiculaire à l'axe longitudinal (X-X) du carter 19 inférieure à la dimension selon un même axe des compensateurs 11 selon le premier mode de réalisation de l'invention. Ils sont donc plus plats que les compensateurs 11.

Les compensateurs 23 sont capables de compenser les déformations de la couche élastique 9 et de transmettre les efforts au carter 19. Par exemple, pour une PCP 22, de 7 cm diamètre extérieur, les compensateurs 23 sont des profils elliptiques plats en aluminium, dont les axes sont de 2 cm et 1 cm et l'épaisseur est de l'ordre de 1-2 mm.

La PCP 27 selon le quatrième mode de réalisation l'invention est illustrée sur la figure 7.

Les éléments identiques ou similaires au premier mode de réalisation de l'invention (figures 1A et 1B) ont été représentés sur la figure 7 avec les mêmes références et ne seront pas décrits une seconde fois.

35 Selon ce mode de réalisation, le stator hélicoïdal 28 comporte un cylindre hélicoïdal rigide 29 et des

compensateurs 11 placés entre le cylindre hélicoïdal rigide 29 et le carter 19. En particulier, le cylindre hélicoïdal 29 n'est pas recouvert d'une couche élastique comme dans les autres modes de réalisation de l'invention.

5 Le cylindre hélicoïdal 29 est réalisé dans un matériau métallique ou un matériau composite.

Avantageusement, les compensateurs 11 assurent l'élasticité nécessaire au contact dynamique entre le rotor hélicoïdal 7 et le stator hélicoïdal 28.

10 Le dimensionnement des compensateurs 11 suivant la relation (12) mentionnée précédemment, conduit à une raideur K_0 capable d'adapter les propriétés dynamiques (notamment les fréquences propres) du système hélicoïdal 7 - stator hélicoïdal 28 afin d'éviter les chocs, la résonance et
15 l'instabilité dynamique.

Pour la PCP 24 avec stator rigide 25 connue de l'état de la technique et illustré sur la figure 6, si la fréquence propre du couple rotor hélicoïdal 7- stator rigide 25 est proche de la fréquence de rotation (vitesse 200 - 500
20 tours/minute) les forces dues aux vibrations et chocs sont multipliées par 6-8 et le risque d'endommagement de la pompe est évident.

L'agencement des compensateurs 11 dans le stator hélicoïdal 28 de la PCP 27 illustrée sur la figure 7 modifie
25 notablement les fréquences propres du stator hélicoïdal 28 et éloigne le couplage avec la fréquence de rotation du rotor hélicoïdal 7. Dans ces conditions, les forces de vibrations sont réduites. Elles sont divisées par 6 - 8 par rapport au cas précédent. La réponse vibratoire de la PCP 27 comportant
30 des compensateurs 11, reste dans les limites requises à un fonctionnement optimum de la pompe.

Les compensateurs 11 assurent l'élasticité nécessaire au contact dynamique (vibrations) entre le rotor hélicoïdal 7 et le stator hélicoïdal 28, et transmettent les forces au
35 carter 19.

Par exemple , pour la PCP 27 de 7 cm de diamètre , les compensateurs 11 sont des profils elliptiques en aluminium , de diamètres 5 et 1,5 cm , dont l'épaisseur est de l'ordre de 2 mm.

5 Selon les modes de réalisation illustrés sur les figures 1A, 4, 5 et 7, le stator hélicoïdal 8, 28 comporte plusieurs compensateurs 11, 18, 21, 23 régulièrement répartis tous le long du carter 19.

Selon une variante de l'invention non représentée, le stator
10 hélicoïdal 8 comporte un unique compensateur de forme hélicoïdale agencé autour dudit cylindre hélicoïdal 10.

En variante, les compensateurs sont constitués par des soufflets ou des ressorts.

En conclusion , on constate que la PCP traditionnelle 1
15 (avec stator en élastomère) cumule , au niveau du contact rotor - stator , deux fonctions :

- une relative étanchéité limitant les fuites entre les cavités

- la concentration des forces de contact et leur transfert
20 vers le carter

Ainsi, comme il a été exposé, le processus thermodynamique - chimique - dynamique entraînent l'augmentation du volume du stator, ce qui se traduit par des efforts excessifs capables d'endommager le stator.

25 Les statistiques montrent que la durée de fonctionnement de ces pompes dans les puits pétroliers, est de l'ordre d'un an, mais on rencontre des stators endommagés après 1-3 mois de fonctionnement.

30 La présente invention propose l'architecture d'une pompe comportant un stator hélicoïdal, permettant de dissocier les deux fonctions :

- le contact rotor - couche élastique assure une relative étanchéité entre les cavités

35 - l'augmentation du volume de la couche élastique et les forces résultantes, sont reprises par les compensateurs; les

forces sont maîtrisées dans la limite requise et sont ensuite transmises au carter.

La présente invention permet de réduire les forces dynamiques (vibrations, chocs) exercées par le rotor sur la
5 couche élastique (élastomère) ou sur le cylindre hélicoïdal rigide (métallique, matériaux composites).

Ainsi, la PCP de la présente invention comporte des compensateurs capables d'assurer le découplage des vibrations du rotor par rapport aux éléments élastiques (élastomère) ou
10 rigides (métallique, matériaux composites) du stator, permettant d'améliorer la fiabilité dynamique et les performances des PCP.

Exemple.

15 La PCP 1 traditionnelle. Pour produire un puits pétrolier on utilise une PCP traditionnelle ; compte tenu des conditions de pompage dans le puits, l'interférence initiale rotor - stator est de $h_1 = 0.5$ mm.

L'évolution des conditions de fonctionnement conduit à
20 l'augmentation de l'interférence ; on constate couramment un gonflement du stator de 5 % de son épaisseur, et l'interférence augmente $h_1 = 1$ mm.

En conséquence, la nouvelle interférence et les forces exercées sur le stator élastique sont deux fois plus grandes.
25 Compte tenu du comportement du stator, dont l'élastomère est soumis aux forces cycliques (courbe de Wöhler), la durée de fonctionnement du stator est divisée par 2.

La PCP 6 selon la présente invention, pendant la production du puits, les compensateurs compensent le
30 gonflement du stator et l'interférence initiale $h_1 = 0.5$ mm est maintenue sans changement significatif ; les forces restent dans la limite acceptable.

Ainsi, la PCP 6 comportant un stator hélicoïdal selon la présente invention, a une durée de fonctionnement 2 fois
35 supérieure à celle de la PCP 1 traditionnelle ; c'est un avantage technique et économique significatif.

Références.

1. Le brevet EP0220318 A1 décrit un moteur à cavités
5 progressives pour le forage pétrolier. La boue de forage
constitue le liquide moteur. Pour ce faire, après le moteur
on installe l'outil de forage qui transmet au moteur des
fortes vibrations longitudinales capables d'endommager le
stator en élastomère. Ces fortes vibrations longitudinales
10 sont dues aux efforts de pénétration de l'outil de forage
dans la roche.

Afin de réduire l'effet des vibrations longitudinales,
ce brevet prévoit un système "absorbeur d'énergie "
(Energieabsorber 10, figure 1 du brevet).
15 Semblable à un palier hydraulique, l'"absorbeur d'énergie"
dissipe l'énergie des vibrations longitudinales à travers un
labyrinthe hydraulique. En effet, le frottement visqueux du
liquide d'écoulement dans le labyrinthe hydraulique amortie
les vibrations longitudinales en dissipant l'énergie ; c'est
20 un absorbeur qui dissipe l'énergie par frottement hydraulique
(figures 3,4,5 du brevet).

La composition chimique de la boue de forage ne produit
pas le gonflement de l'élastomère du stator. Par conséquent,
le problème du gonflement du stator de la PCP de pompage
25 pétrolier ne se pose pas dans le cas du moteur de forage.

Aussi, le liquide de l'absorbeur d'énergie (labyrinthe
hydraulique) est incompressible ; ce dispositif ne peut pas
compenser le gonflement transversal du stator élastique ou
les vibrations transversales.

30 La PCP objet de la présente invention, comprend des
compensateurs (figures 1A et 1B) capables de compenser, par
leur élasticité , les déformations transversales du stator.
En effet, les gonflements du stator sont dus aux conditions
du fonctionnement de la pompe dans le puits pétrolier en
35 production : liquides et gaz agressifs, hautes températures
et pressions.

Ainsi, on constate que les conditions de fonctionnement du moteur de forage n'ont rien de commun avec le pompage pétrolier.

Les compensateurs sont des éléments élastiques, en métal
5 ou matériaux composites, se déformant pour compenser les variations de volume du stator (gonflements de la couche élastique) et les vibrations transversales du rotor. Par conséquent, ils n'ont rien d'un labyrinthe hydraulique (absorbeur hydraulique d'énergie) dont le rôle est de
10 dissiper l'énergie des vibrations longitudinales du forage dans la roche.

L'architecture et le fonctionnement de la PCP comportant un stator hélicoïdal avec des compensateurs, sont très différents du moteur de forage comportant un système
15 d'absorbeur d'énergie hydraulique, présenté par ce brevet.

2. Le brevet US 2006 / 0153724 A1 décrit un moteur de forage à cavités progressives comportant un stator constitué de deux couches d'élastomère, dont les propriétés mécaniques
20 sont différentes.

Comme mentionné précédemment, pendant le pompage dans un puits pétrolier l'effet thermodynamique - chimique -
dynamique engendre des déformations de l'élastomère du stator (gonflements). Le forage pétrolier est tout à fait différent
25 ; le liquide du moteur de forage est constitué de la boue de forage sous pression injectée de la surface.

Les conditions de fonctionnement du pompage dans un puits pétrolier et le forage sont très différentes.

Le brevet décrit un stator comportant deux couches en
30 élastomère. Dans ces conditions, l'effet thermodynamique - chimique - dynamique du pompage pétrolier engendre des déformations différentielles du stator en élastomère.

Le risque de dommages engendrés par le rotor sur le stator à
35 deux couches d'élastomère, reste entier.

Par conséquent, l'utilisation du stator à deux couches d'élastomère dans le pompage pétrolier présente une fiabilité et une durée de fonctionnement réduites.

L'architecture et le fonctionnement de la PCP comportant
5 un stator hélicoïdal avec des compensateurs, sont très différents du moteur de forage comportant un stator en élastomère à deux couches, présenté par ce brevet.

REVENDEICATIONS

1.- Pompe à cavités progressives (6, 20, 22, 27) comportant :

5 - un carter (19) de forme cylindrique d'axe longitudinal (X-X) ; ledit carter (19) étant pourvu, à une extrémité, d'une ouverture d'entrée (14) et à son extrémité opposée, d'une ouverture de sortie (15),

10 - un stator hélicoïdal (8, 28) contenu à l'intérieure dudit carter (19) ; ledit stator hélicoïdal (8,28) comprenant un cylindre hélicoïdal (10, 29) ayant un axe central (Y-Y) confondu avec l'axe longitudinal (X-X) dudit carter (19) ;

15 - un rotor hélicoïdal (7) propre à tourner à l'intérieur dudit cylindre hélicoïdal (10, 29) pour déplacer un fluide de l'ouverture d'entrée (14) vers l'ouverture de sortie (15),

caractérisée en ce que ledit stator hélicoïdal (8, 28) comporte en outre au moins un compensateur (11, 18, 21, 23) agencé dans ledit carter (19), entre le carter (19) et ledit cylindre hélicoïdal (10, 29) ; ledit cylindre hélicoïdal (10, 29) et ledit compensateur (11, 18, 21, 23) étant propres à se déformer selon une direction perpendiculaire audit axe longitudinal (X-X).

25 2.- Pompe à cavités progressives (6, 20, 22) selon la revendication 1, caractérisée en ce que ledit stator hélicoïdal (8) comporte une couche élastique (9) fixée sur une face intérieure dudit cylindre hélicoïdal (10).

30 3.- Pompe à cavités progressives (6, 20, 22) selon la revendication 2, caractérisé en ce que ladite couche élastique (9) présente une épaisseur comprise entre 0.5 centimètre et 2 centimètres, en particulier de 0.5 à 1,5 centimètre.

4.- Pompe à cavités progressives (6, 20, 22, 27) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que ledit rotor hélicoïdal (7) est propre à tourner à une fréquence de rotation, et en ce que ledit au moins compensateur (11, 18, 21, 23) est apte à découpler les fréquences propres de l'ensemble rotor hélicoïdal (7) et stator hélicoïdal (8,28) de la fréquence de rotation du rotor hélicoïdal (7).

10

5.- Pompe à cavités progressives (6, 20, 22, 27) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que ledit au moins compensateur (11, 18, 21, 23) est défini par un coefficient de raideur (K_0) qui satisfait la relation suivante :

15

$$K_0 \leq (1/9) \cdot M \cdot W^2$$

Dans laquelle :

- W est la fréquence de rotation du rotor hélicoïdal 7,
- M est la masse totale du rotor hélicoïdal (7) et du stator hélicoïdal (8,28).

20

6.- Pompe à cavités progressives (6, 22, 27) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisée en ce que ledit au moins compensateur (11, 18, 23) est un profil fermé.

25

7.- Pompe à cavités progressives (6, 22, 27) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisée en ce que ledit au moins compensateur (11, 18, 23) présente une section de forme elliptique.

30

8.- Pompe à cavités progressives (20) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisée en ce que ledit au moins compensateur (21) est un profil ouvert.

35

9.- Pompe à cavités progressives (6, 20, 27) selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisée en ce que

ledit au moins compensateur (11, 18, 21) est agencé sur une portion concave(12) dudit cylindre hélicoïdal (10).

5 10.- Pompe à cavités progressives (22) selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisée en ce que ledit au moins compensateur (23) est agencé sur une portion convexe (13) dudit cylindre hélicoïdal (10).

10 11.- Pompe à cavités progressives (6, 20, 22, 27) selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisée en ce que ledit stator hélicoïdal (8,28) comporte plusieurs compensateurs (11, 18, 21, 23) régulièrement répartis tous le long du carter (19).

15 12.- Pompe à cavités progressives (6, 20, 22, 27) selon l'une quelconques des revendications 1 à 10, caractérisée en ce que ledit stator hélicoïdal (8,28) comporte un unique compensateur de forme hélicoïdale agencé autour dudit cylindre hélicoïdal (10,29).

20

13.- Pompe à cavités progressives (6, 20, 22, 27) selon l'une quelconques des revendications 1 à 12, caractérisée en ce que lesdits compensateurs (11, 18, 21, 23) sont fabriqués dans un métal ou dans un matériau composite.

25

14. Application de la pompe à cavités progressives (6, 20, 22, 27) telle que revendiquée dans l'une quelconque des revendications 1 à 13, au pompage des fluides, lesdits fluides étant liquides, liquides visqueux ou gaz, et au
30 pompage de mélanges polyphasiques constitués de liquides et de gaz avec des particules solides.

1/5

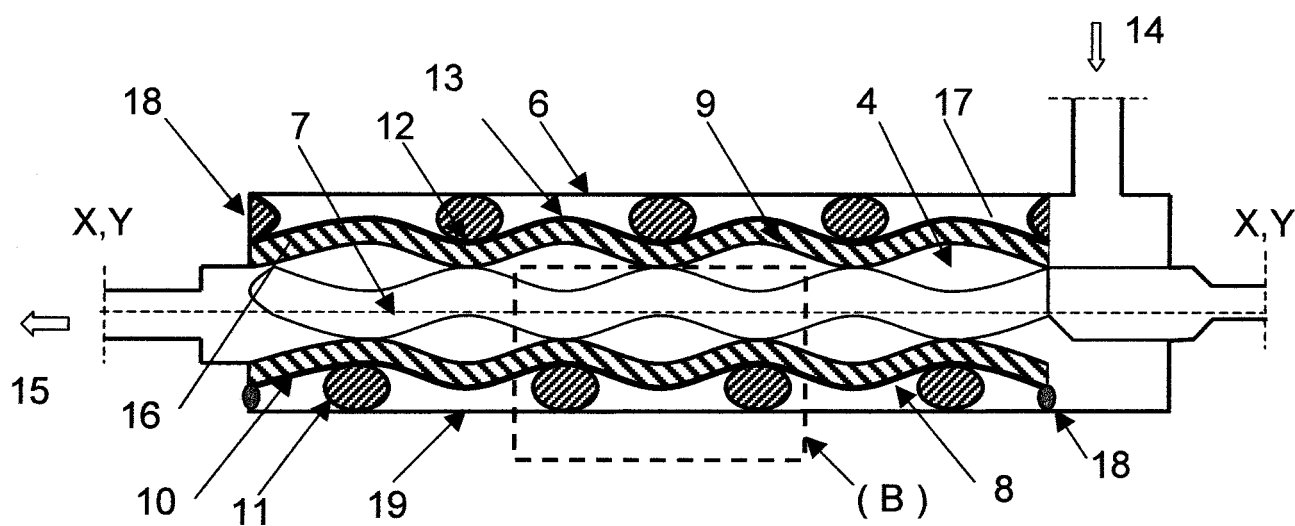


FIG. 1A

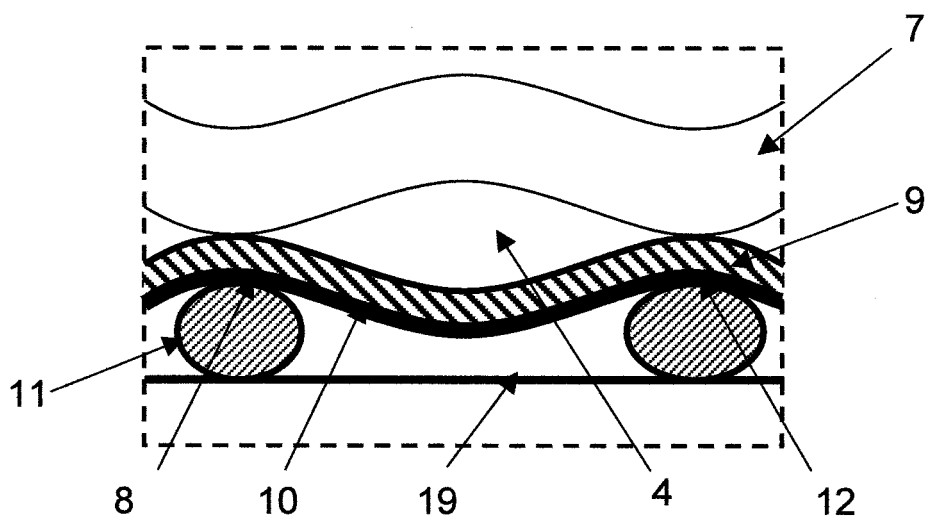
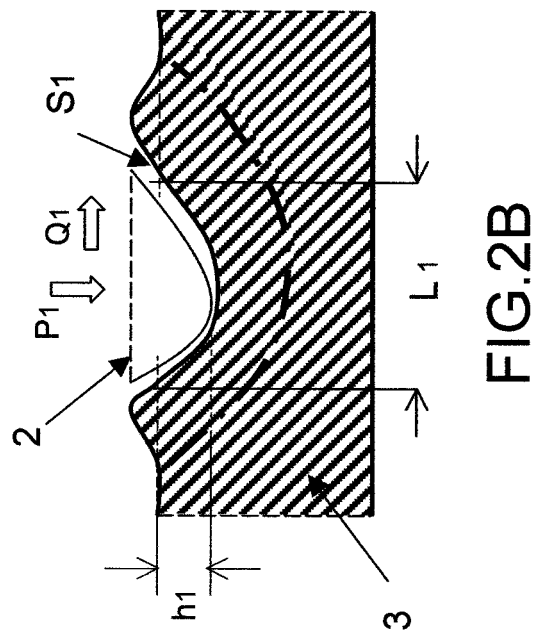
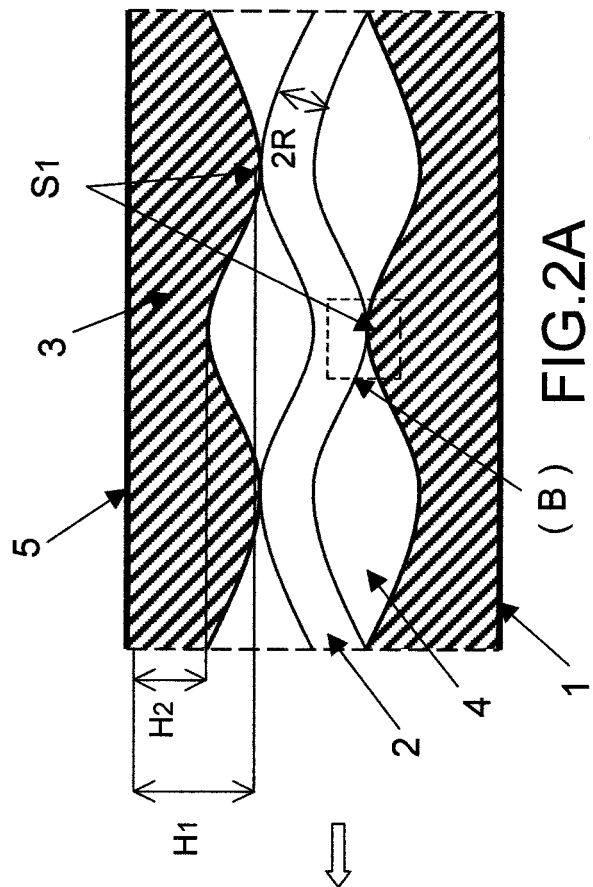
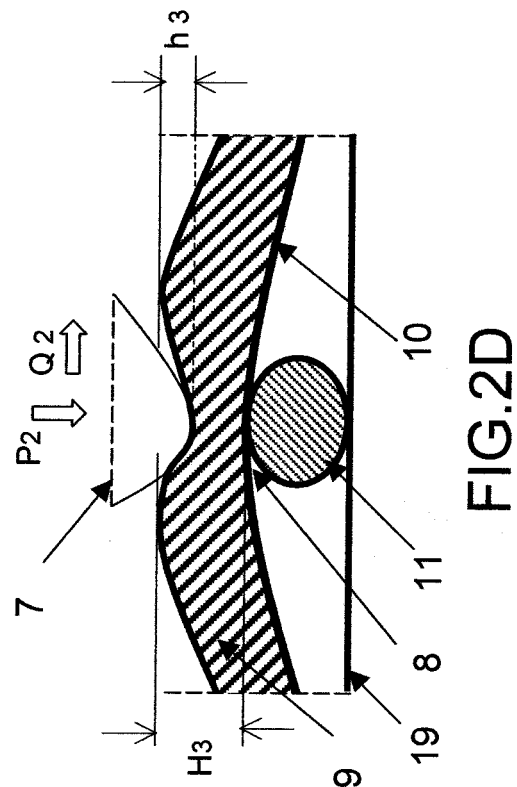
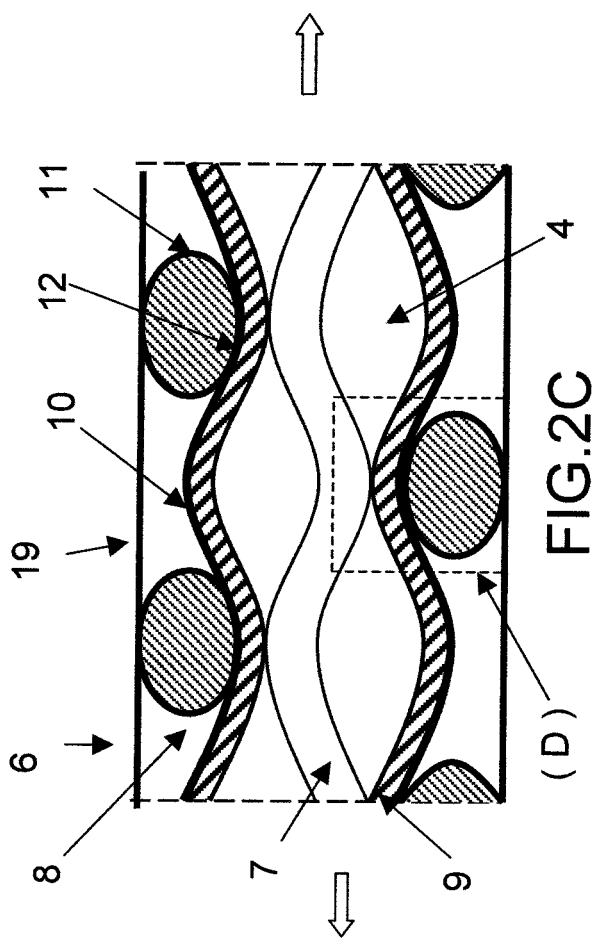


FIG. 1B



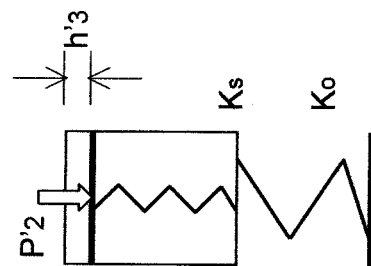
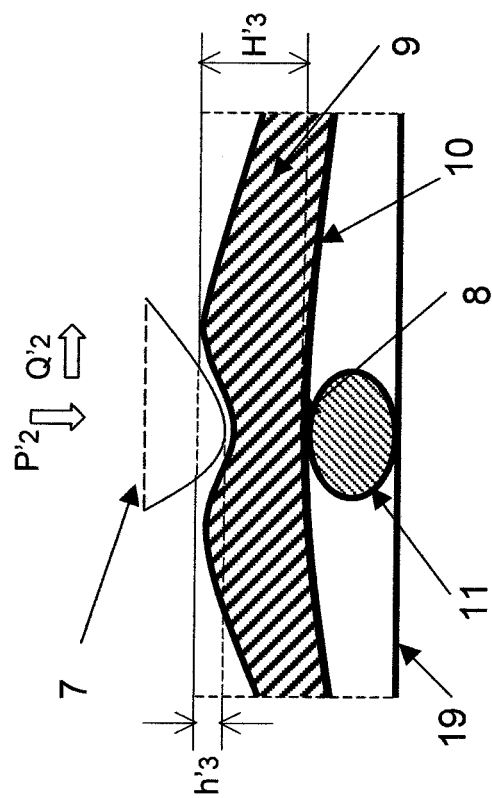


FIG.3B

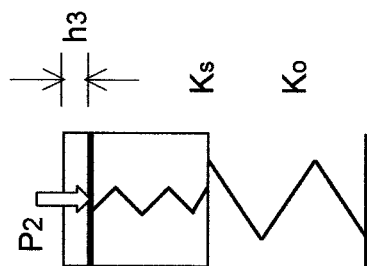
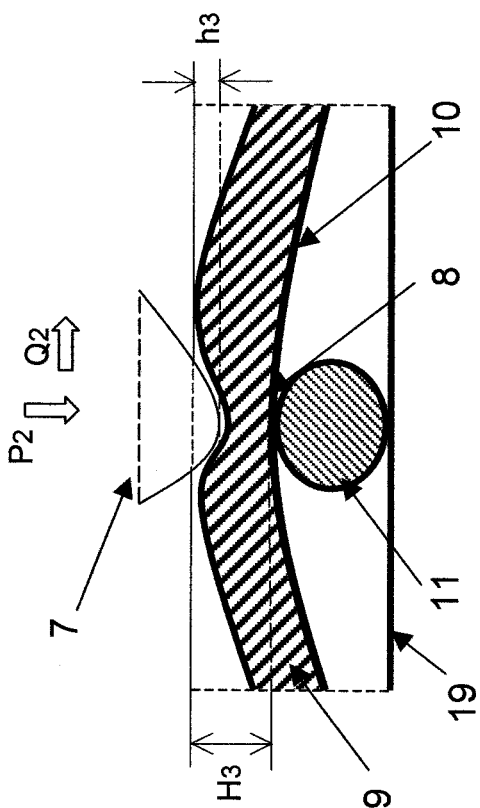
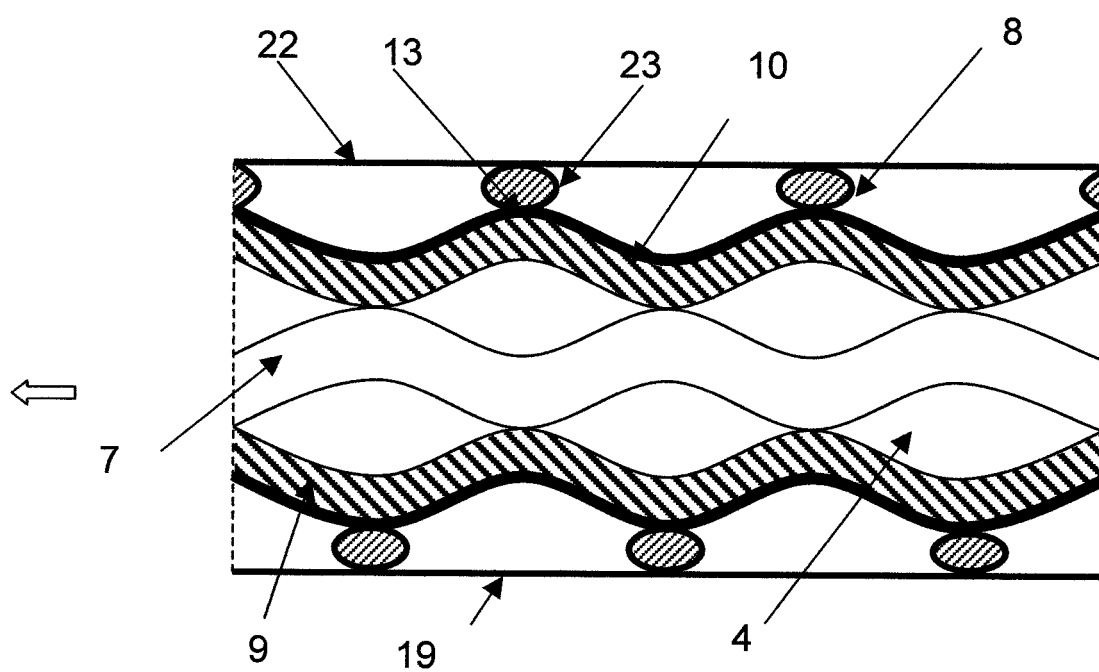
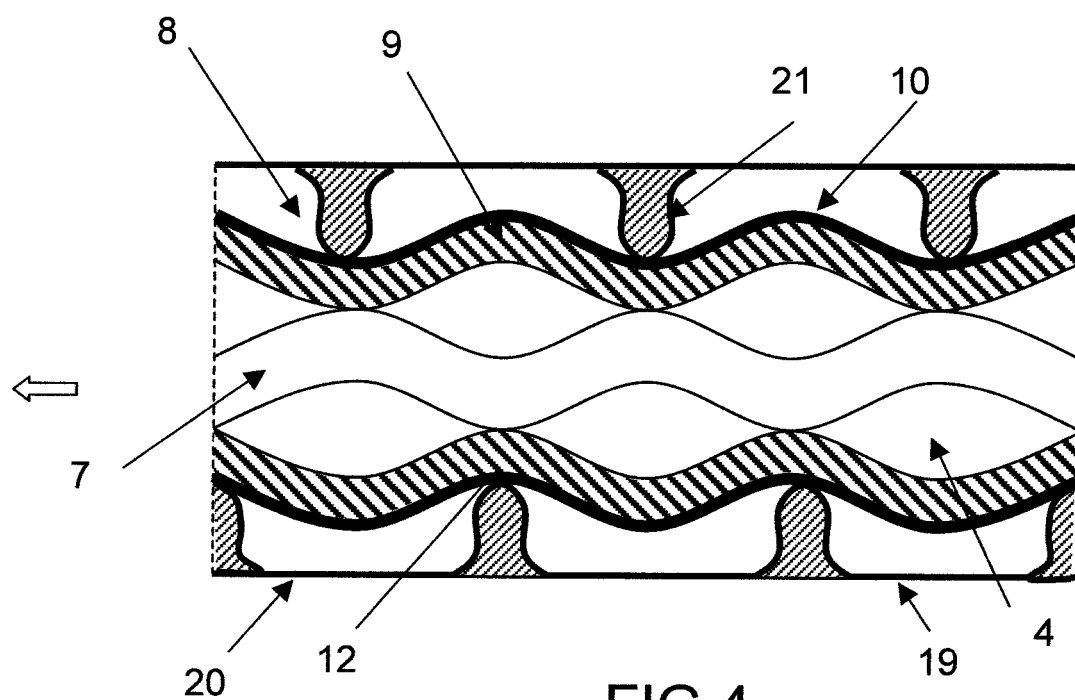


FIG.3A

4/5



5/5

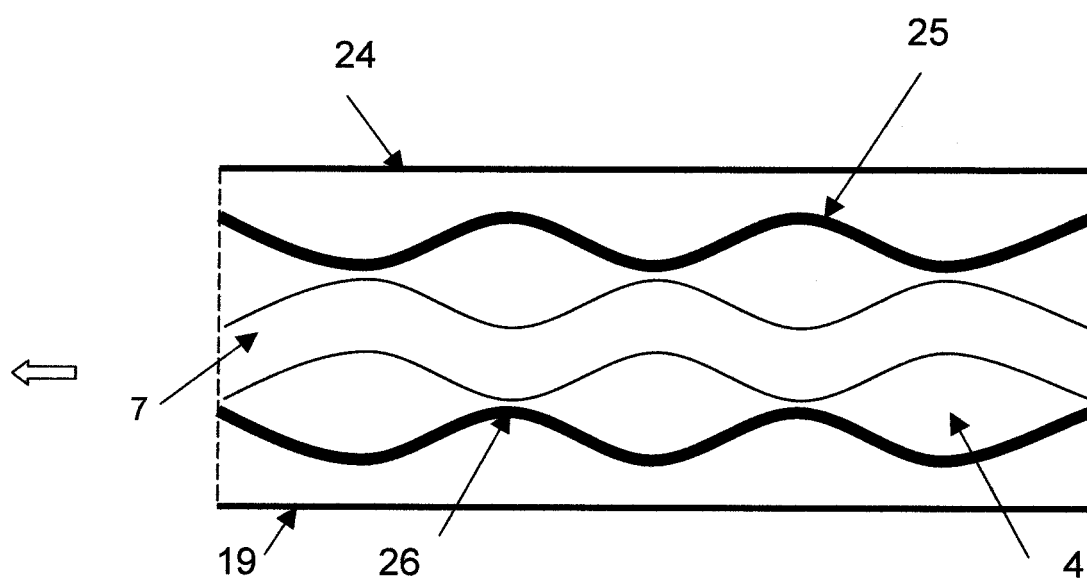


FIG. 6

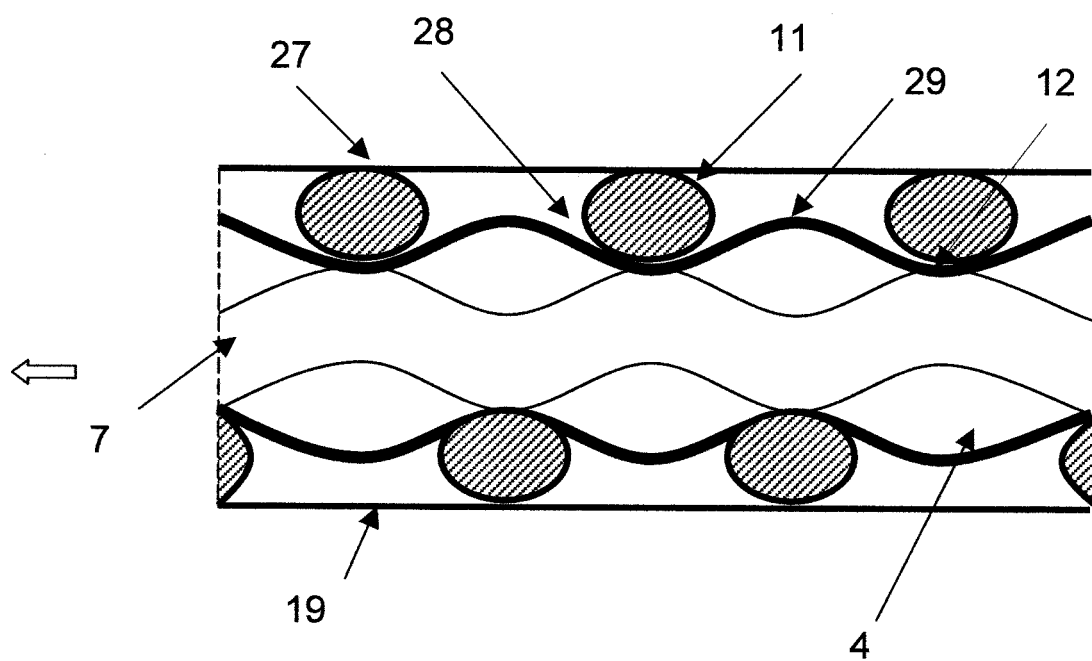


FIG. 7



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

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

FA 766448
FR 1201519

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		
X	US 3 139 035 A (O'CONNOR WALTER J) 30 juin 1964 (1964-06-30) * figures 1-4 * * colonne 2, ligne 38 - ligne 41 * * colonne 3, ligne 70 - colonne 4, ligne 69 *	1-4,6-14	F04C2/107
A	----- EP 0 220 318 A1 (INST BUROVOI TEKHNIK [SU]) 6 mai 1987 (1987-05-06) * figures 1-5 * * page 6, ligne 31 - page 7, ligne 5 * * page 7, ligne 33 - page 8, ligne 2 *	1	
A	----- WO 2008/091262 A1 (HALLIBURTON ENERGY SERV INC [US]; STEELE DAVID JOE [US]) 31 juillet 2008 (2008-07-31) * le document en entier *	1-13	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			F04C
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
25 janvier 2013		Durante, Andrea	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		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.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1201519 FA 766448**

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 **25-01-2013**

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 3139035	A	30-06-1964	AUCUN	

EP 0220318	A1	06-05-1987	BR 8507202 A	04-08-1987
			DK 595586 A	11-12-1986
			EP 0220318 A1	06-05-1987
			NO 865238 A	22-12-1986
			WO 8606443 A1	06-11-1986

WO 2008091262	A1	31-07-2008	CA 2673720 A1	31-07-2008
			CN 101512046 A	19-08-2009
			US 2010086425 A1	08-04-2010
			WO 2008091262 A1	31-07-2008
