

## (12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle  
Bureau international



WIPO | PCT



## (10) Numéro de publication internationale

WO 2017/032510 A1

(43) Date de la publication internationale  
2 mars 2017 (02.03.2017)

(51) Classification internationale des brevets :  
A61M 1/10 (2006.01) A61M 1/12 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/EP2016/067121

(22) Date de dépôt international :  
19 juillet 2016 (19.07.2016)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
1557893 25 août 2015 (25.08.2015) FR

(71) Déposant : FINEHEART [FR/FR]; Hôpital Xavier Arnouzan, Avenue du Haut Lévéque, Technologique d'Innovation Biomédicale, 33200 Pessac (FR).

(72) Inventeur : HADDADI, Mohammad; 19 avenue Jean Cocteau, 33700 Mérignac (FR).

(74) Mandataire : PONTET ALLANO & ASSOCIES; Parc Les Algorithmes, Bâtiment PLATON, CS 70003 SAINT-AUBIN, 91192 Gif sur Yvette Cedex (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

## Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title : BLOOD FLOW PUMP FOR VENTRICULAR ASSISTANCE

(54) Titre : POMPE DE FLUX SANGUIN POUR ASSISTANCE VENTRICULAIRE

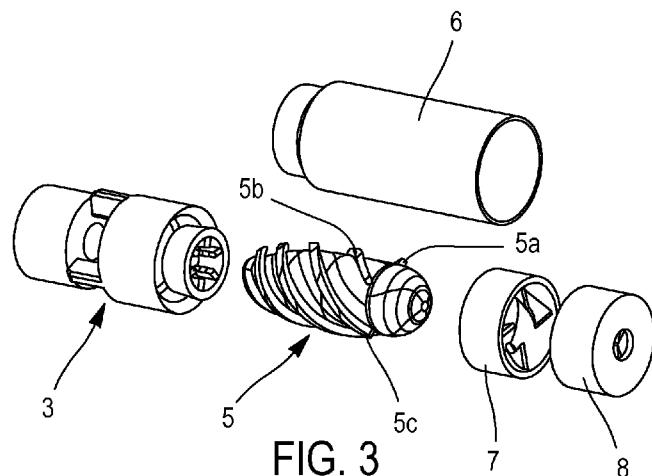


FIG. 3

(57) Abstract : The invention relates to a pump intended to be immersed in a fluid, comprising: - an inductor (4) provided with guide vanes to make the flow of fluid linear; - a rotor (5, 16) comprising a central body with a flared shape, this rotor (5, 16) being disposed downstream of the inductor (4) with respect to the direction of circulation of the fluid; - at least one helical blade (18) provided around said central body; this helical blade (18) having a flared external profile and comprising turns with an increasing winding pitch that tends towards infinity, and the internal volume of the casing (6) being complementary to the flared shape of said at least one helical blade (18); - a casing (6) around the rotor (5, 16); - a diffuser (7, 22) provided with blades so as to make the flow of fluid linear and disposed downstream of the rotor (5, 16) so as to evacuate the fluid from the rotor (5, 16) towards the outside; and - a diffuser insert (8, 26) provided with blades and an outlet orifice with a diameter less than the inlet diameter of the diffuser insert (8, 26), the blades directing the fluid coming from the diffuser (7, 22) towards the orifice so as to increase the outlet pressure of the orifice.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



---

L'invention concerne une pompe destinée à être immergée dans un fluide comprenant: - un inducteur (4) doté de pales de guidage pour rendre l'écoulement du fluide linéaire; - un rotor (5, 16) comprenant un corps central de forme évasée, ce rotor (5, 16) étant disposé en aval de l'inducteur (4) par rapport au sens de circulation du fluide; - au moins une pale hélicoïdale (18) réalisée autour dudit corps central; cette pale hélicoïdale (18) ayant un profil extérieur évasé et comporte des spires à pas d'enroulement croissant et tendant vers l'infini, et le volume intérieur du carter (6) étant complémentaire à la forme évasée de ladite au moins une pale hélicoïdale (18), - un carter (6) autour du rotor (5, 16); - un diffuseur (7, 22) doté de pales pour rendre l'écoulement de fluide linéaire et disposé en aval du rotor (5, 16) de façon à évacuer le fluide depuis le rotor (5, 16) vers l'extérieur; et - un redresseur (8, 26) doté de pales et d'un orifice en sortie de diamètre inférieur au diamètre d'entrée du redresseur (8, 26), les pales dirigeant le fluide provenant du diffuseur (7, 22) vers l'orifice de façon à augmenter la pression en sortie de l'orifice.

## " Pompe de flux sanguin pour assistance ventriculaire."

La présente invention se rapporte à une pompe pour assistance ventriculaire. Il s'agit par exemple d'une pompe alimentée par batterie et destinée à être insérée dans un corps humain pour aider à la circulation du sang.

Dans le domaine des systèmes d'assistance ventriculaire, on connaît deux types de pompes: la pompe axiale qui génère un débit important avec une faible augmentation de pression, et la pompe centrifuge qui génère une forte pression avec un faible débit.

Afin de savoir quel type de pompe est la plus adaptée pour une utilisation donnée, on est souvent amené à estimer une vitesse spécifique du sang dans la pompe. La vitesse spécifique est une variable réduite calculée en fonction de différents paramètres: le débit désiré, la hauteur d'élévation (différence de pression entre l'entrée et la sortie) et la vitesse de rotation. A partir de cette valeur, le choix de la pompe peut être fait parmi les modes suivants : centrifuge pour une vitesse comprise dans [0-1,2], mixte pour une vitesse spécifique comprise dans [1-2,2] et axiale au-dessus. Des abaques permettent de choisir un type de pompe avec un profil prédéfini pour les ailettes ou pales utilisées dans le rotor.

Quel que soit le type de pompe choisi, on constate la présence de forces de cisaillement dans la plupart des pompes de l'art antérieur du fait que les rotors et carter utilisées dans l'art antérieur créent des tourbillons excessifs dans le sang. Les forces de cisaillement sont à l'origine de la création d'hémolyse, c'est-à-dire la destruction de globules rouges. Lorsque les globules rouges sont détruits, quel que soit le débit pour véhiculer le sang, l'oxygène ne parvient pas aux cellules.

Un autre inconvénient est la stagnation de sang provoquant des caillots de sang, à l'origine de la thrombose.

La présente invention a pour objet une pompe évitant la création de thrombose.

Un autre objet de l'invention et d'éviter la création d'hémolyse.

On atteint au moins l'un des objectifs avec une pompe destinée à être immergée dans un fluide, cette pompe comprenant :

- 2 -

- un inducteur doté de pales de guidage pour rendre l'écoulement du fluide linéaire ;

5 - un rotor comprenant un corps central de forme évasée, ce rotor étant destiné à créer de l'énergie cinétique et étant disposé en aval de l'inducteur par rapport au sens de circulation du fluide ;

10 - au moins une pale hélicoïdale réalisée autour dudit corps central ; cette pale hélicoïdale ayant un profil extérieur évasé et comporte des spires à pas d'enroulement croissant et tendant vers l'infini, et le volume intérieur du carter étant complémentaire à la forme évasée de ladite au moins une pale hélicoïdale,

- un carter autour du rotor ;

15 - un diffuseur doté de pales pour rendre l'écoulement de fluide linéaire et augmenter la pression du fluide ; ce diffuseur étant disposé en aval du rotor de façon à évacuer le fluide depuis le rotor vers l'extérieur en transformant l'énergie cinétique créée par le rotor en énergie potentielle ; et

20 - un redresseur doté de pales et d'un orifice en sortie de diamètre inférieur au diamètre d'entrée du redresseur, les pales dirigeant le fluide, en provenance du diffuseur, vers l'orifice de façon à augmenter la vitesse et donner au fluide un profil prédéterminé en sortie de l'orifice.

20

En d'autres termes, la pale hélicoïdale est enroulée autour du rotor de telle sorte que l'angle d'attaque de la pale hélicoïdale diminue au fur et à mesure que l'on se déplace de l'extrémité amont du rotor vers l'extrémité en aval; l'angle d'attaque étant défini comme l'angle entre l'axe de rotation du rotor et un vecteur tangent à la surface externe de la pale hélicoïdale. On notera que la pale peut être enroulée autour du rotor comme décrit principalement dans la présente demande, mais elle peut également être positionnée sur la paroi interne du carter.

30 L'écoulement de fluide linéaire telle que défini ici, l'est par opposition à un écoulement tourbillonnant. Cet écoulement linéaire peut être laminaire.

35 Le redresseur (« straightener » en langue anglaise) selon l'invention permet de créer un flux en concentrant le fluide de façon à obtenir des valeurs de vitesses élevées en sortie de la pompe. De façon générale, le système vasculaire d'un cœur présente des résistances vasculaires assez élevées. Une pompe efficace est une pompe capable de propulser le sang dans les valves avec une pression suffisante pour vaincre ces résistances

- 3 -

vasculaires. La pression en sortie de la pompe est primordiale comparativement à la vitesse de sortie qui avec la pompe selon l'invention peut atteindre la vitesse maximale de 3 m/s.

En d'autres termes, le redresseur permet de canaliser le fluide, de créer un profil permettant d'avoir une vitesse maximale en un point, *i.e.* aligné avec la valve aortique, de manière à expulser le flux de façon laminaire. Ceci permet d'éviter la création de tourbillons en sortie de la pompe. Le diamètre de l'orifice de sortie est plus petit que le diamètre interne du carter. Son petit diamètre de sortie, par exemple un demi ou un tiers du diamètre interne du carter, permet de régler les paramètres de pression, entre 80 et 200 mmHg, et de vitesse, entre 1 et 3 m/s, tout en évitant la création d'un courant à vitesse négative (en contresens par manque de pression et d'homogénéité du flux en sortie).

L'ensemble diffuseur et redresseur selon l'invention permet donc de rendre la pompe efficace. Le redresseur diffuse le fluide directement vers la sortie dans le milieu ambiant en créant un flux. Ce milieu ambiant peut avantageusement être ledit fluide, qui est de préférence du sang.

L'inducteur selon l'invention évite le phénomène de cavitation, c'est-à-dire la création de bulle dans le fluide.

Il est important de noter que cette pompe est parfaitement adaptée pour un fonctionnement selon une disposition verticale, ou légèrement penchée c'est-à-dire inclinée entre 0 et 5 degrés par rapport à l'axe verticale. La pompe selon l'invention peut également fonctionner couchée comme la plupart des pompes de l'art antérieur.

Concernant la pale hélicoïdale, son profil extérieur est évasé et le volume intérieur du carter est complémentaire à cette forme évasée. Dans la plupart des pompes de l'art antérieur, le carter présente un volume intérieur cylindrique droit de sorte que le profil extérieur des pales est plutôt rectangulaire. Il s'agit notamment de pompes axiales où le diamètre extérieur des pales est identique au diamètre intérieur du carter de profil rectangulaire, ce sont des pompes isodiamétriques. Une telle conception de profil rectangulaire n'est pas efficace lorsque la pompe doit être disposée à la verticale.

La pompe selon l'invention peut en outre comprendre une chambre d'admission pourvue d'ouvertures latérales pour que le fluide puisse pénétrer

- 4 -

radialement puis s'engager dans l'axe vers l'inducteur. Cette chambre d'admission peut être de forme cylindrique comportant sur sa partie supérieure en aval desdites ouvertures, un réceptacle pour accueillir l'inducteur. La chambre d'admission et l'inducteur peuvent constituer deux 5 pièces destinées à être fermement solidaires l'une de l'autre ou bien être conçus comme une seule et unique pièce.

Les pales de guidage de l'inducteur sont avantageusement conçues de façon à laisser passer une tige permettant de relier le rotor à un moteur, 10 l'inducteur se trouvant entre le carter et ce moteur. En fonctionnement, le corps central (avec la pale hélicoïdale) est en rotation à l'intérieur du carter sans entrer en contact avec les autres composants de la pompe.

Selon un mode de réalisation nullement limitatif, la pompe comporte en tout quatre pales hélicoïdales identiques réparties de façon homogène autour 15 du corps central.

De préférence, le corps central du rotor est de forme oblongue, c'est-à-dire que les flancs du corps central peuvent présenter des courbures. La tête de ce corps central peut être arrondie et dépourvue de pale, par exemple sous forme d'ogive.

20

Selon l'invention, le diffuseur peut être un cylindre creux doté de pales de guidage droites réparties dans sa paroi interne et s'étendant de la périphérie vers le centre. Son rôle est de transformer une partie de l'énergie cinétique du fluide en pression, cette pression étant notamment transférée au 25 redresseur. En complément notamment, les pales de guidage du diffuseur peuvent présenter une forme vrillée dans un sens inverse au sens d'enroulement de la pale hélicoïdale autour du corps central.

Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, lorsque le corps 30 central comporte une tête arrondie dépourvue de pales, le diffuseur coiffe cette tête arrondie, et chaque pale de guidage du diffuseur présente une forme complémentaire à une partie de la tête arrondie faisant face. Le diamètre interne du cylindre formant le diffuseur est identique au diamètre interne du carter au niveau de l'extrémité aval de la pale hélicoïdale.

35

- 5 -

Selon l'invention, le redresseur est disposé en aval du diffuseur selon le sens de circulation du fluide. Par exemple, la paroi interne du redresseur peut être de forme conique avec, disposées dessus, des pales de guidage droites.

5 Selon une variante du diffuseur selon l'invention, ce diffuseur peut comporter une partie centrale en forme d'ogive pointue vers l'aval, un cylindre autour de la base de l'ogive, des pales de guidage reliant ce cylindre à la base de l'ogive ; ce diffuseur étant destiné à venir en prise avec l'extrémité aval du rotor via un roulement permettant de garder le diffuseur 10 fixe par rapport au rotor. Un tel diffuseur permet d'améliorer la directivité, la pression et l'homogénéité du flux en sortie de la pompe.

De la même manière, dans ce mode de réalisation les pales de guidage du diffuseur peuvent également être vrillées dans un sens inverse au sens d'enroulement de la pale hélicoïdale autour du corps central. Ainsi le diffuseur 15 fait opposition au caractère tourbillonnant du fluide arrivant du rotor. Après le passage du fluide dans le diffuseur, celui-ci est complètement corrigé de façon à constituer un flux laminaire par l'action du redresseur.

En particulier, selon la variante, le redresseur est disposé en aval du diffuseur selon le sens de circulation du fluide ; des pales de guidage sont 20 droites et sont conçues de façon à laisser pénétrer la tête de l'ogive dans la partie centrale du redresseur.

D'une façon générale, l'ensemble rotor et pale hélicoïdale peut 25 avantageusement présenter un profil de type centrifuge du côté amont, de type mixte dans la partie centrale, et de type axial du côté aval.

Avec la pompe selon l'invention, l'ensemble rotor et carter présente les caractéristiques à la fois :

- d'une pompe de type centrifuge, c'est-à-dire une accélération radiale du fluide arrivant axialement, pour ce faire la partie basse des pales hélicoïdales présente un angle prononcé, de l'ordre de l'ordre de 45 degrés, par exemple entre 40 et 50 degrés, par rapport à l'axe de rotation du rotor,
- d'une pompe de type mixte, c'est-à-dire une pente ou une courbure moins prononcée des spires des pales hélicoïdales, et
- d'une pompe de type axial, le fluide étant conduit selon une direction parallèle à l'axe de rotation du rotor.

- 6 -

Cette configuration permet de limiter les forces de cisaillement (« shear stress » en langue anglaise) qui peuvent engendrer une hémolyse, c'est-à-dire une destruction des globules rouges. Même avec un fort débit, lorsque les globules rouges sont détruits, l'oxygène ne parvient pas jusqu'aux 5 cellules.

Les forces de cisaillement sont créées par des effets de tourbillonnement de sang en entrée et en sortie de pompe. La pompe selon l'invention évite les tourbillons par un appel de sang en utilisant une structure de type centrifuge et un refoulement axial.

10

Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, la partie du côté amont de l'ensemble corps central et pale hélicoïdale est dimensionnée pour une vitesse spécifique comprise entre 0 et 1.2. Par ailleurs, la partie centrale de l'ensemble corps central et pale hélicoïdale peut être dimensionnée pour 15 une vitesse spécifique comprise entre 1 et 2.2. Enfin, la partie centrale de l'ensemble corps central et pale hélicoïdale peut être dimensionnée pour une vitesse spécifique supérieure à 2.2. Il s'agit de valeur de vitesse spécifique permettant de classifier les structures centrifuge, mixte ou axial respectivement.

20

Lors de l'étude théorique préliminaire avant conception, en fonction de son utilisation et des objectifs en termes de débit à atteindre, il a été constaté que la pompe selon l'invention devrait avoir une vitesse spécifique de l'ordre de 1. Les abaques dans le domaine technique de l'invention et les préjugés 25 communément admis auraient poussé naturellement l'homme du métier vers un choix de pompe ou turbine de type centrifuge ou axial. Cependant, la pompe selon l'invention présente un dessin très particulier et innovant où les trois types de pompe sont présents, y compris le type mixte. La structure de la pompe selon l'invention ne suit pas la méthode traditionnelle 30 (« handbook ») de dessin d'une pompe ou turbine de type homogène.

Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, la pompe comporte un arbre d'entrainement et de maintien du rotor, cet arbre étant fixé sur l'extrémité amont du rotor et traversant la chambre d'admission dans 35 sa zone axiale. Cet arbre est notamment relié à un moteur apte à mettre en mouvement le rotor.

5 Selon l'invention, la chambre d'admission, l'inducteur le carter et le diffuseur sont conçus en une seule pièce ou sont fermement fixés les uns aux autres sans mouvements relatifs, le rotor étant maintenu mobile en rotation dans le carter.

L'inducteur dans la chambre d'admission, le diffuseur et le redresseur sont également des éléments fixes par rapport au rotor.

10 De préférence, la pale hélicoïdale présente une hauteur radiale (son épaisseur dans la direction radiale) identique sur toute sa longueur (de bas en haut du corps central). En variante, on peut envisager de préférence une hauteur radiale (son épaisseur dans la direction radiale) variable sur toute sa longueur. On peut prévoir une hauteur de 1 à 4 mm en bas et 1 à 3 mm en haut du corps central, avec une progression continue ou par paliers, en fonction des caractéristiques de pression et de vitesse dont on a besoin.

15

La forme globale extérieure de la pompe est un cylindre de section circulaire, mais d'autres types de sections peuvent être envisagées telles qu'une section carrée, triangulaire ; la chambre d'admission peut présenter une forme globale différente de la forme globale du carter.

20

Selon un autre aspect de l'invention, il est prévu un procédé de pilotage de la pompe telle que définie ci-dessus. Dans ce procédé, le rotor est actionné par un moteur, connecté à la pompe, conformément au rythme cardiaque. Le sang est pulsé hors de la pompe selon le rythme de la pulsation cardiaque, notamment de type sinusoïdal avec des accélérations et des ralentissements. Le rythme cardiaque peut être détecté au moyen d'une sonde reliant le cœur à une unité de commande qui contrôle le moteur.

30 La pompe s'adapte en rotation : si le cœur bat à 60 pulsations ou à 120 pulsations par minute, la pompe selon l'invention suit le rythme alors que la plupart des pompes de l'art antérieur fonctionne à régime fixe.

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée d'un mode de mise en œuvre nullement limitatif, et des dessins annexés, sur lesquels :

35 La figure 1 est une vue générale extérieure de la pompe selon l'invention,

- 8 -

La figure 2 est une vue intérieure par transparence de la pompe selon l'invention,

La figure 3 est une vue éclatée de la pompe selon l'invention,

La figure 4 est une vue schématique en coupe longitudinale de la 5 pompe selon l'invention,

La figure 5 est une vue en perspective de la chambre d'admission selon l'invention,

La figure 6 est une vue en perspective de l'inducteur à insérer dans la chambre d'admission selon l'invention,

10 La figure 7 est un schéma illustrant différentes vues du carter selon l'invention,

La figure 8 est une vue en perspective du rotor selon l'invention,

La figure 9 est une vue en perspective du diffuseur selon l'invention,

La figure 10 est une vue en perspective du redresseur selon l'invention,

15 La figure 11a, 11b et 11c sont des vues schématiques d'une variante de la pompe selon l'invention,

Les figures 12 et 13 sont des vues schématiques en perspective de l'avant et de l'arrière du diffuseur selon la variante des figures 11a-c,

20 La figure 14 est une vue schématique d'un rotor selon une variante où la tête du rotor est en forme d'ogive,

La figure 15 est une vue schématique d'un rotor selon la variante des figures 11a-c,

Les figures 16 et 17 sont des vues schématiques d'un inducteur selon l'invention,

25 Les figures 18 et 19 sont des vues schématiques d'un redresseur selon l'invention, et

La figure 20 est une vue en coupe schématique d'une pale avec une illustration de différents paramètres.

30 Sur la figure 1, on distingue la pompe 1 selon l'invention sous la forme globale d'un cylindre à section circulaire, destinée à aspirer un fluide tel que le sang et le refouler de façon à favoriser la circulation sanguine. Une telle pompe est destinée à être installée dans un corps notamment pour assistance ventriculaire. Sa longueur est d'environ 61.8mm, le diamètre du 35 carter 2 est d'environ 17 – 20 mm, alors que la partie basse 3a présente un diamètre d'environ 15 – 20 mm.

- 9 -

La pompe selon l'invention peut avantageusement, mais pas uniquement, être utilisée dans un positionnement vertical, c'est-à-dire le carter 2 à la verticale et au-dessus de la partie basse 3a. La plupart des pompes de l'art antérieur sont utilisées dans un mode horizontal.

5 Selon l'invention, la chambre d'admission 3 a pour fonction de faire entrer le fluide, notamment du sang, par les ouïes ou ouvertures 3d sous l'action d'une aspiration provenant de l'intérieur du carter 2. Le fluide est ensuite refoulé par une ouverture à l'extrémité du carter.

10 Sur la figure 5 on voit plus en détail la chambre d'admission 3 constituée d'une partie basse 3a, d'une partie supérieure 3b, les deux parties étant reliées par des guides radiaux 3c délimitant des ouvertures 3d vers l'intérieur de la chambre d'admission.

15 La partie basse 3a est un cylindre de section circulaire, de paroi épaisse de telle sorte que la partie centrale est un tunnel 3e. Le diamètre de ce dernier est inférieur au diamètre extérieur de la section du cylindre, qui est d'environ 15mm. Dans l'exemple de la figure 5, le diamètre du tunnel 3e est de 6 mm.

20 Les guides radiaux 3c sont trois plaques inscrites dans des plans qui se coupent sur l'axe de la chambre d'admission. La face extérieure de chaque plaque 3c affleure la surface extérieure latérale de la partie supérieure 3b. La zone centrale contenant l'axe de la chambre d'admission est vide pour le passage du fluide. Cette zone centrale constitue un tunnel de diamètre supérieur au diamètre du tunnel 3e.

25 La partie supérieure 3b est sous la forme d'un cylindre présentant deux épaisseurs différentes, une première épaisseur du côté en amont, c'est-à-dire du côté en contact avec les guides radiaux 3c, et une seconde épaisseur, inférieure à la première, du côté aval. Entre les deux épaisseurs se trouve une marche 3f. Avec une telle disposition, un inducteur 4 tel que décrit sur la figure 6 peut être inséré et fixé à l'intérieur de la chambre d'admission 3 dans 30 la partie 3b de grande épaisseur. Lors de l'insertion, cet inducteur 4 peut venir se poser sur des extrémités des guides 3c. Les dimensions de l'inducteur 4 sont telles qu'une fois inséré, sa partie supérieure affleure la marche 3f. On peut envisager d'autres modes de réalisation telles que par exemple une pièce unique constituée des éléments 3b et 4, ou alors 3 et 4. 35 L'inducteur 4 est un cylindre creux comportant des guides radiaux 4a, par exemple au nombre de quatre jusqu'à six, sur toute la hauteur du cylindre et

- 10 -

s'inscrivant dans des plans radiaux concourants au centre du cylindre. L'inducteur 4 sert de guide d'entrée du fluide. Il permet de limiter la cavitation dans les étages supérieurs qui seront décrits par la suite. Les guides 4a produisent un écoulement laminaire de sorte que le caractère 5 turbulent du fluide est considérablement réduit. Cela permet de ralentir et réduire la détérioration généralement rapide du rotor qui sera décrit ci-après, en limitant les attaques du fluide sur les pales de ce rotor.

Les différentes pièces de la pompe peuvent être conçues par moulage, impression 3D, usinage ou autres.

10 Sur les figures 2 et 3 on distingue en vue intérieure transparente et en vue éclatée les différentes pièces de la pompe. La vue de la figure 2 permet de distinguer un espace creux 3g de diamètre plus grand que celui du tunnel 3e.

15 Les étages supérieurs de la chambre d'admission comprennent un rotor 5 destiné à se mouvoir à l'intérieur d'un carter 6, et des éléments de sortie tels un diffuseur 7 et un redresseur 8. Le rotor 5 visible sur les figures 2, 3 et 4 présente une forme oblongue ou ovale avec un seul axe de symétrie : c'est-à-dire comme une ogive allongée ou étirée sur une extrémité. Le rotor 5 est donc un corps dont le diamètre de la section 20 circulaire (coupe radiale) croît depuis sa partie basse jusque vers la partie supérieure, puis décroît rapidement jusqu'à l'extrémité supérieure. On peut définir une partie utile comme étant celle pour laquelle le diamètre croît. Cette croissance est de préférence continue mais pas linéaire de sorte que la forme extérieure de la partie utile est de type conique à paroi convexe.

25 Avantageusement, on réalise entre trois et cinq pales. Sur la figure 2, il y a quatre pales hélicoïdales 5a, 5b, 5c, 5d, sur la partie utile. Chaque pale hélicoïdale est un serpentin d'épaisseur constante ou variable sur toute la longueur de sorte que la forme extérieure du rotor avec les pales hélicoïdales à pas évolutif qui reste conique à paroi convexe. Cette forme 30 innovante du rotor 5 présente une partie supérieure en demi-sphère 5h et la partie utile, cette dernière pouvant être pré découpée en trois parties: une (première) partie basse 5e dont les caractéristiques (forme, angle d'attaque, inclinaison des pales, ...) sont celles d'une pompe centrifuge. Dans une pompe centrifuge le fluide pompé est aspiré axialement puis 35 accéléré radialement, et enfin refoulé tangentiellement. Dans le cas présent, le fluide arrive axialement via la chambre d'admission puis est

- 11 -

accéléré radialement grâce à la courbure prononcée du bas du rotor. Cette courbe prononcée est obtenue en utilisant des abaques connus de l'homme du métier tel que les abaques publiés par Sabersky, Acosta et Hauptmann en 1989 (« Fluid Flow: A First Course in Fluid Mechanics », by Rolf H. 5 Sabersky, A. J. Acosta and Edward G. Hauptmann, 3 Sub edition , March 6, 1989, Prentice Hall College Div) ou encore Stepanoff A. (Stepanoff A., "Centrifugal and Axial Flow Pumps", 2nd ed. 1957, New York: Krieger Publishing Company). L'effet centrifuge est rendu de manière optimale par le fait que le carter 6 présente une forme intérieure également conique 10 concave, complémentaire à la forme du rotor 5 sur toute la partie utile.

La seconde partie 5f est de forme mixte selon les abaques. Il s'agit d'une partie intermédiaire suivant la partie centrifuge et présentant une courbure moins prononcée que celle de la partie centrifuge ou alors un plan incliné par rapport à l'axe de rotation.

15 La troisième partie 5g est de forme axiale, la forme extérieure du rotor et la forme intérieure du carter sont sensiblement linéaires et parallèles à l'axe de rotation du rotor. Sur la figure 8 on voit en détail un tel rotor.

20 Un arbre non représenté est prévu sous forme de tige fixée dans l'axe du rotor. En fonctionnement, l'arbre relie le rotor 5 à un moteur non représenté, l'arbre passant via la chambre d'admission. En rotation, l'arbre tourne sans entrer en contact avec les parois de la chambre d'admission. Pour la fixation, l'arbre et le rotor peuvent être conçus en une pièce unique ou bien l'arbre peut être inséré dans le rotor 5 par l'alésage 5i visible sur la figure 4.

25 Sur la figure 7 on distingue plus en détail le carter 6 constitué d'un corps principal 6a et d'un corps secondaire 6b. Le corps principal 6a est un cylindre allongé, le corps secondaire étant un cylindre dont le diamètre extérieur est inférieur au diamètre extérieur du corps principal. Le corps secondaire 6b est conformé de façon à s'insérer et y être maintenu fixe dans 30 la partie supérieure 3b de la chambre d'admission. De préférence l'extrémité basse du corps secondaire 6b vient en butée sur la marche 3f, visible sur la figure 5. La forme intérieure du carter 6 est complémentaire à la forme extérieure de la partie utile du rotor sur toute la longueur des pales hélicoïdales. Une partie supérieure du carter présente par contre un diamètre 35 intérieur uniforme de sorte qu'elle constitue un cylindre creux conventionnel de section circulaire. Au niveau de cette partie supérieure, à l'intérieur du

- 12 -

carter, on trouve la tête 5h du rotor ainsi que le diffuseur 7 et le redresseur 8.

En fonctionnement, la forme interne complexe du carter permet de réaliser les fonctions centrifuges, mixte et axiale de sorte que le fluide est 5 aspiré dans la pompe sans créer de tourbillon, il est ensuite propulsé vers le haut de la pompe sans cisaillement pour ne pas détruire les globules rouges. Le rotor selon l'invention permet de communiquer l'énergie cinétique au fluide par sa forme particulière. Il modifie donc la vitesse du fluide sans cisaillement et augmente aussi sa pression. Pour se faire, les éléments de sortie de la 10 pompe contribuent à augmenter la pression en présentant un orifice de sortie réduit ainsi que des formes spécifiques.

Sur la figure 9, on voit le diffuseur 7 qui est un cylindre destiné à venir coiffer la tête 5h du rotor. Le diffuseur comporte des pales de guidage orientées 7a dans le sens du refoulement du fluide amené par le rotor. 15 L'orientation des pales de guidage permet de transformer une partie de l'énergie cinétique du fluide en pression qui est une énergie potentielle. L'épaisseur des pales de guidage peut être fixe le long du diffuseur ou bien variable de façon à épouser la forme de la tête du rotor. La hauteur du diffuseur 7 est de préférence sensiblement identique à celle de la tête du 20 rotor. Le tableau ci-dessous présente les propriétés du diffuseur :

Diffuseur	valeurs	Intervalle de Tolérance (intervalle de valeurs possibles)
Longueur de la région des pales (mm)	6	3-9
Nombre de pales	4	2-5
Espacement maximum (mm)	0.3	0.1-0.5
Hauteur de la pale au bord d'attaque (« leading edge ») (mm)	2	1-5
Hauteur de la pale au bord de fuite (« trailing edge ») (mm)	3	1-5
angle theta au bord d'attaque (deg)	-2.5	(-1)-(-40)
angle theta au bord de fuite (deg)	-87.5	(-50)-(-150)
angle beta au bord d'attaque (deg)	-75	(-15)-(-90)
angle beta au bord de fuite (deg)	-25	(-1)-(-40)
Épaisseur de couche normale	0.95 to 0.525	0.25-1.5

Sur la figure 10, on voit un redresseur 8 ayant pour rôle de guider le refoulement du fluide en créant un écoulement laminaire de façon à éliminer les turbulences. Il s'agit d'un cylindre ouvert 8a sur sa base pour recevoir le 5 fluide provenant du rotor 5 via le diffuseur 7. Il comporte un orifice 8b de diamètre inférieur par rapport au diamètre de l'ouverture 8a sur sa base.

On distingue une paroi intérieure 8d de forme conique concave depuis l'ouverture 8a sur sa première moitié puis conique convexe sur sa deuxième 10 moitié vers l'orifice 8b. Le fluide est mis sous pression lorsque poussé vers l'orifice de faible diamètre.

On distingue également trois pales de guidage 8c inscrites dans des 15 plans radiaux qui concourent au centre du redresseur. Chaque pale est une lame de largeur plus épaisse du côté de la paroi que du côté du centre du cylindre. La largeur s'affine donc en s'éloignant de la paroi du cylindre.

Dans la configuration décrite, pour chaque pale de guidage, le profil du côté faisant face à l'axe de rotation du cylindre, est courbé, notamment en 20 arc de cercle, de telle sorte que les pales de guidage se rapprochent les unes des autres au niveau de l'orifice et sont plus éloignées du côté de l'ouverture 8a.

Une variante du redresseur peut être conçue de façon concave avec des pales qui suivent la partie interne concave du redresseur et dont 25 l'épaisseur s'élargit vers l'extrémité 8b de façon linéaire. Cette variante permettant au redresseur d'épouser la forme de la partie 5h sur la figure 4 ou d'une ogive 24' directement fixée au rotor de la figure 14 ou de l'ogive 24 du diffuseur de la figure 12 suivant une autre variante.

En d'autres termes le redresseur s'adapte à la forme de la tête du rotor 30 et/ou du diffuseur utilisés.

Les dimensions pouvant être adoptées sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

redresseur	valeurs	Intervalle de Tolérance (intervalle de valeurs possibles)
Longueur de la région des pales (mm)	<b>8</b>	<b>3-9</b>
Nombre de pales	<b>3</b>	<b>2-4</b>
Espacement maximum (mm)	<b>0.3</b>	<b>0.1-0.4</b>
Hauteur de la pale au bord d'attaque (« leading edge ») (mm)	<b>3.2</b>	<b>1-5</b>
Hauteur de la pale au bord de fuite (« trailing edge ») (mm)	<b>3.9</b>	<b>1-7</b>
angle theta au bord d'attaque (deg)	<b>-7.65</b>	<b>-1-(-30)</b>
angle theta au bord de fuite (deg)	<b>-7.45</b>	<b>-1-(-30)</b>
angle beta au bord d'attaque (deg)	<b>-0.2</b>	<b>1-(-10)</b>
angle beta au bord de fuite (deg)	<b>0.4</b>	<b>1-(-10)</b>
Épaisseur de couche normale	<b>0.28 to 0.42</b>	<b>0.1 to 1</b>

5

Sur les figures 11a, 11b et 11c est représentée une variante de la pompe selon l'invention. Cette variante est particulièrement adaptée pour diffuser efficacement le sang hors de la pompe. La particularité de cette pompe est son diffuseur 22 disposé à l'extrémité de la zone active du rotor 16 10 au moyen d'un roulement 21. Cette particularité est illustrée sur la figure 11a ensemble avec d'autres composants de la pompe, ces composants étant différents de ceux décrits sur les autres figures mais on peut naturellement envisager d'utiliser les composants déjà décrits dans la mesure où ils sont compatibles avec la présente particularité.

15 Plus globalement, on distingue un caisson turbine 12, qui est une pièce de forme cylindrique dotée d'ouvertures latérales 13 pour l'admission de sang. L'homme du métier comprendra aisément que le caisson de turbine regroupe en fait les fonctions du carter, de la chambre d'admission et de l'inducteur décrit précédemment. Ce caisson turbine 12 peut être conçu soit 20 dans une pièce unique qui comprend l'inducteur soit ce caisson peut être créé en deux parties distinctes à laquelle l'inducteur peut être ajouté. En d'autres termes, il peut n'y avoir qu'une seule pièce ou trois pièces distinctes telles

- 15 -

que la partie inférieure 14 qui comprend la partie 13, l'inducteur et la partie 15 tels que représenté sur les figures 5, 6 et 7. Les ouvertures latérales 13 permettent de distinguer une partie supérieure 15 du caisson plus haute qu'une partie inférieure 14. La partie supérieure 15 est creuse pour recevoir 5 le rotor 16 ainsi que son arbre d'entraînement 17. Ce dernier est destiné à traverser la partie inférieure 14 par son centre jusqu'à un moteur 10a. En d'autres termes, le moteur 10a maintient l'arbre d'entraînement 17 qui traverse toute la partie inférieure 14 jusqu'au rotor 16 et auquel il est fermement fixé pour l'entrainer en rotation. Le moteur 10a peut être 10 partiellement ou totalement intégré à l'extrémité de la partie inférieure 14, mais il peut également être disposé à l'extérieur. Un joint 11 est prévu à l'intérieur de la partie inférieure 14 pour l'étanchéité entre un roulement 10b, le moteur 10a et le sang. Dans tous les cas, ce joint 11 est situé avant la partie 13 et après un roulement 10b qui n'est pas représenté ici et qui sert 15 au guidage de l'arbre d'entraînement 17. Ce roulement 10b peut se situer dans la partie inférieure 14 ou dans le moteur 10a.

La partie supérieure 15 est suffisamment longue pour accueillir en plus du rotor 16, le roulement 21, le diffuseur 22 et le redresseur 26, ces éléments étant connectés en série.

20 Le rotor 16 est constitué d'un corps central évasé 19 autour duquel sont enroulées quatre pales hélicoïdales 18 sur toute la longueur du corps central. La tête du rotor est coupée à plat, seul un axe 20 dépasse. Sur la figure 15, on voit plus en détail le rotor 16 suivant la variante des figures 11a, 11b et 11c. On note que l'épaisseur des pales 18 n'est pas constante le 25 long du corps central évasé 19. L'axe 20 est une tige mâle dimensionnée pour recevoir le roulement 21 en tant qu'élément femelle.

La bague extérieure du roulement 21 est montée serrée dans le logement 29 figure 13 du diffuseur 22 lui-même fixé à l'intérieur de la partie 15 du caisson 12. L'axe 20 du rotor 16 est monté glissant dans la bague 30 intérieure du roulement 21 permettant ainsi le guidage en rotation du rotor au même titre que le roulement 10b du moteur 10a.

Le redresseur 26 est fixé dans la partie supérieure 15 du caisson 12, au même titre que le diffuseur 22. Il s'agit d'un cylindre creux doté de pales droites disposées radialement. Lorsque la pompe est complètement montée, 35 le redresseur 26 affleure ou est en retrait (à l'intérieur) de l'extrémité de la

- 16 -

partie supérieure 15. L'ensemble avec le moteur fait une longueur de moins de 100mm.

En fonctionnement, le moteur 10a de type « brushless » fait tourner l'ensemble 16 qui est composé des pièces 17 à 20. Le sang pénètre par les 5 ouvertures 13, passe ensuite par un inducteur (non représenté) disposé à l'intérieur du caisson 12. Cet inducteur peut être sous la forme de plusieurs pales de guidages droites radialement fixées à la paroi interne du caisson 12, « au pied » de la partie supérieure 15. Le sang est aspiré par le rotor 16 et passe tout autour de l'arbre d'entraînement 17 sous forme de flux linéaire. Le 10 sang est ensuite entraîné par le rotor en tournant jusque dans le diffuseur qui porte des pales vrillées dans le sens opposé au sens des pales hélicoïdales. Le flux de sang cesse alors de tourner et est ensuite redressé en passant par le redresseur 26 qui par son orifice de sortie crée un flux laminaire de forte pression. La pompe est prévue pour fonctionner en immersion selon une 15 fréquence allant de 500 à 10000 tr/min.

Sur les figures 11b et 11c, on distingue l'intérieur du caisson turbine 12 conformé de façon à accueillir les différents composants. La partie supérieure 15 comporte en intérieur une forme évasée venant épouser, sans toucher, la forme extérieure du rotor 16. Les pales 27 sont directement réalisées sur la 20 paroi interne du caisson, formant ainsi un inducteur à l'extrémité amont de la partie supérieure 15. Les ouvertures 13 sont directement réalisées dans le caisson de sorte que subsistent uniquement des lames 28 inscrites dans des plans concurrents à l'axe de révolution du caisson. L'arbre d'entraînement 17 est prévu le long de l'axe de révolution du caisson comme on peut le voir sur 25 la figure 11b. Le fluide est destiné à pénétrer radialement par les ouvertures 13 et à être entraîné tout autour de l'arbre d'entraînement 17 en direction du rotor, entre les pales hélicoïdales, jusqu'à travers le diffuseur 22. Les pales du redresseur peuvent également être directement réalisées sur la paroi interne à l'extrémité aval de la partie supérieure 15.

30 Le joint 11 sur la figure 11b empêche le fluide de descendre vers le moteur 10a. Dans l'exemple illustré sur la figure 11b, le roulement 10b est intégré dans le moteur 10a qui lui-même pénètre dans la partie inférieure 14. Les figures 11b et 11c sont des variantes pour lesquelles l'inducteur et le redresseur sont directement réalisés dans le caisson.

Les dimensions du rotor peuvent être comme illustrées dans le tableau ci-dessous.

<b>Rotor</b>	valeurs	<b>Plage de valeurs possibles</b>
Longueur de la région avec pales hélicoïdales (mm)	<b>25</b>	<b>10-35</b>
nombre de pales hélicoïdales (mm)	<b>4</b>	<b>2-5</b>
gap entre rotor et carter (mm)	<b>0.3</b>	<b>0.1-0.4</b>
Hauteur de la pale au bord d'attaque (« leading edge ») du rotor (mm)	<b>2.9</b>	<b>1-5</b>
Hauteur de la pale au bord de fuite (« trailing edge ») du rotor (mm)	<b>2</b>	<b>1-5</b>
Angle Beta au bord d'attaque du rotor (deg)	<b>47.5</b>	<b>10-90</b>
Angle Beta au bord de fuite du rotor (deg)	<b>22</b>	<b>10-90</b>
Angle theta au bord d'attaque du rotor (deg)	<b>0.2</b>	<b>0-50</b>
Angle theta au bord de fuite du rotor (deg)	<b>312</b>	<b>100-360</b>
Epaisseur de la pale hélicoïdale (mm)	<b>0.2-1.4</b>	<b>0.1-2</b>

Les angles d'attaque et de sortie du sang dans le rotor sont tels que le sang est propulsé à l'entrée par une force centrifuge, et est relâché en sortie par une force axiale, la zone centrale du rotor étant semblable à une force mixte. On note que la hauteur de la pale hélicoïdale (son épaisseur selon la direction radiale) peut varier, par exemple décroître entre le bas et le haut du rotor. Par ailleurs, l'épaisseur latérale de la pale hélicoïdale peut également varier, par exemple croître entre le bas et le haut du rotor. La hauteur « a » et l'épaisseur latérale « b » sont schématiquement représentées sur la figure 14. Les mêmes dimensions peuvent être appliquées pour les différents modes de réalisations.

Sur la figure 12 est illustré plus en détail un diffuseur 22 selon l'invention. Il est composé d'un cylindre 23 relié à une ogive 24 par des pales vrillées 25. Sur la figure 13 on distingue l'arrière du diffuseur 22. On note que l'ogive 24 présente sur sa face arrière le logement 29 prévu pour recevoir le roulement 21 et l'axe 20.

Sur la figure 14, on voit une autre variante pour laquelle l'ogive 24' est intégrée et pivote avec le rotor. Dans ce cas, le diffuseur est constitué d'un cylindre comme le cylindre 23 mais avec des pales vrillées uniquement fixées

- 18 -

à ce cylindres et permettant le passage de la tête d'ogive avec une épaisseur de marge pour éviter tout frottement.

Sur les figures 16 et 17, on distingue une représentation schématique d'un inducteur individuel 34 sur la figure 16 et une représentation schématique uniquement des pales 35 de cet inducteur sur la figure 17. Cet inducteur peut être conçu individuellement. Il sera alors à fixer fermement dans une chambre d'admission. Il peut également être directement réalisé dans une chambre d'admission ou dans un caisson turbine ; dans ce cas ce sont les pales qui sont réalisées sur la paroi interne de la chambre d'admission ou du caisson turbine. La zone centrale de l'inducteur est laissée libre pour le passage du fluide. Sur la figure 17, la zone centrale de l'inducteur représente le flux du fluide.

De façon générale et pour l'ensemble des modes de réalisation, les pales de l'inducteur selon l'invention sont plus épaisses en amont qu'en aval dans le sens de déplacement du fluide. La progression de l'épaisseur peut être linéaire, mais de préférence discontinue : une progression linéaire jusqu'à atteindre une certaine épaisseur, puis l'épaisseur reste constante sur le reste de la longueur de la pale. Par ailleurs, les pales peuvent également être plus épaisses à l'endroit de liaison avec le cylindre 36 qui les porte qu'à l'extrémité centrale. On prévoit également un angle entre la section radiale de chaque pale et le rayon du cylindre 36 portant les pales. Les données numériques sont indiquées sur le tableau ci-dessous :

Inducteur	valeurs	Intervalle de Tolérance (intervalle de valeurs possibles)
Longueur de la région de l'inducteur (mm)	<b>4.5</b>	<b>3-8</b>
Nombre de pales de l'inducteur	<b>4</b>	<b>3-6</b>
Espacement maximum (mm)	<b>0.28</b>	<b>0.1-0.3</b>
Longueur de la région des pales de l'inducteur (mm)	<b>2.9</b>	<b>1-5</b>
angle $\theta_1$ au bord d'attaque (deg)	<b>74.41</b>	<b>30-90</b>
angle $\theta_2$ au bord de fuite (deg)	<b>73.7</b>	<b>30-90</b>
angle $\beta_1$ au bord d'attaque (deg)	<b>0</b>	<b>-10-30</b>
angle $\beta_2$ au bord de fuite (deg)	<b>1.2</b>	<b>-10-30</b>
Épaisseur de couche normale (mm)	<b>035-0.95</b>	<b>0.2-1</b>

- 19 -

La figure 20 est une vue en coupe d'une pale sur laquelle sont illustrés différents paramètres de conception. Les définitions des différents paramètres sont illustrées par la figure ci-dessous :

5 On distingue une pale 37 sur laquelle sont définis un bord d'attaque ("leading edge (inlet)") et un bord de fuite ("trailing edge (outlet)"). Les paramètres suivants permettent de caractériser une pale lors de la conception :

10 Pour la zone d'entrée :

$U_1$  = vitesse de la pale,

$V_1$  = vitesse du fluide après contact avec la pale (vitesse de sortie/vitesse finale)

15  $W_1$  = vitesse du fluide avant contact avec la pale (vitesse d'entrée/vitesse initiale)

$V_{U1}$  = projection du vecteur vitesse  $V_1$  sur l'axe  $U_1$

$V_{a1}$  = Projection de  $V_1$  et  $W_1$  sur l'axe défini par l'axe de la turbine

$\beta_1$  = angle entre le vecteur  $W_1$  et l'axe de la turbine

20  $\theta_1$  = angle entre le vecteur  $V_1$  et l'axe de la turbine

Pour la zone de sortie :

$U_2$  = vitesse de la pale,

25  $V_2$  = vitesse du fluide après contact avec la pale (vitesse de sortie/vitesse finale)

$W_2$  = vitesse du fluide avant contact avec la pale (vitesse d'entrée/vitesse initiale)

$V_{U2}$  = projection du vecteur vitesse  $V_2$  sur l'axe  $U_2$

30  $V_{a2}$  = Projection de  $V_2$  et  $W_2$  sur l'axe défini par l'axe de la turbine

$\beta_2$  = angle entre le vecteur  $W_2$  et l'axe de la turbine

$\theta_2$  = angle entre le vecteur  $V_2$  et l'axe de la turbine

Pour la zone centrale :

- 20 -

$V_m$  = vitesse du fluide après contact avec la pale (vitesse de sortie/vitesse finale)

$W_m$  = vitesse du fluide avant contact avec la pale (vitesse d'entrée/vitesse initiale)

5  $\beta_m$  = angle entre le vecteur  $W_m$  et l'axe de la turbine

$\theta_m$  = angle entre le vecteur  $V_m$  et l'axe de la turbine

10 Les ensembles U, V et W constituent des triangles de vitesse de flux et servent de référentiel pour la définition des vecteurs vitesses et des angles  $\beta_m$  et  $\theta_m$ , où m est égale à 1 pour le repère dont l'origine a été déplacé au bord d'attaque, et 2 pour le repère dont l'origine a été déplacé au bord de fuite. Le trait en pointillé représente la direction axiale.

15 Les figures 18 et 19 illustrent une vue de face et une vue arrière d'un redresseur selon l'invention. Ce redresseur peut être réalisé de façon individuelle puis fixé dans le carter de la pompe ou bien directement réalisé sur la paroi interne du carter, c'est-à-dire une paroi conformée identiquement à la paroi interne du cylindre 30 du redresseur et des pales conçues 20 directement sur cette paroi. Les pales 31 sont plus épaisses en amont qu'en aval dans le sens de circulation du fluide. La progression de l'épaisseur peut être linéaire. Sur la figure 18 est illustré le côté aval du redresseur, c'est-à-dire l'endroit par lequel sort le fluide. Sur la figure 19 est illustré le côté 25 amont du redresseur, l'entrée du fluide. Sur ce dernier côté, les pales 31 laissent un espace centrale plus grand que du côté aval, les pales et la paroi interne 32 du cylindre 30 portant les pales étant conçus de façon à guider le fluide vers l'orifice de sortie 33 qui est plus étroit que l'entrée du redresseur.

30 Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits et de nombreux aménagements peuvent être apportés à ces exemples sans sortir du cadre de l'invention.

La pompe selon l'invention peut facilement être implantée dans un cœur par sa petite dimension du fait de son design particulier permettant une pression élevée tout en conservant la qualité du sang.

- 21 -

La pompe selon l'invention consomme peu du fait qu'elle fonctionne selon le rythme cardiaque physiologique : un flux oscillant.

La pompe selon l'invention fonctionne en propulsant : le rythme est pulsé.

5

La pompe selon l'invention est avantageusement prévue pour fonctionner à la verticale, le rotor étant disposé à la verticale, le fluide pénètre via l'inducteur, traverse le rotor puis ressort par le haut via le diffuseur et le redresseur. La plupart des pompes de l'art antérieur fonctionne 10 à l'horizontale. C'est la capacité d'admission et de refoulement qui permet le fonctionnement à la verticale de la pompe selon l'invention. Une telle pompe, placée dans un ventricule gauche par exemple, présente l'avantage d'avoir une entrée et une sortie directement dans ce ventricule. Ceci permet d'éviter la présence d'un tube d'entrée et/ou de sortie comme il existe sur les autres 15 dispositifs de l'art antérieur.

- 22 -  
REVENDICATIONS

1. Pompe (1) destinée à être immergée dans un fluide comprenant :

- un inducteur (4) doté de pales de guidage (4a) pour rendre  
5 l'écoulement du fluide linéaire ;

caractérisée en ce qu'il comprend en outre :

- un rotor (5, 16) comprenant un corps central (19) de forme évasée, ce rotor (5, 16) étant destiné à créer de l'énergie cinétique et étant disposé en aval de l'inducteur (4) par rapport au sens de circulation du fluide ;

10 - au moins une pale hélicoïdale (18) réalisée autour dudit corps central ; cette pale hélicoïdale (18) ayant un profil extérieur évasé et comportant des spires à pas d'enroulement croissant et tendant vers l'infini, et le volume intérieur du carter (6) étant complémentaire à la forme évasée de ladite au moins une pale hélicoïdale (18),

15 - un carter (6) autour du rotor (5, 16) ;

- un diffuseur (7, 22) doté de pales pour rendre l'écoulement de fluide linéaire et augmenter la pression du fluide ; ce diffuseur (7, 22) étant disposé en aval du rotor (5, 16) de façon à évacuer le fluide depuis le rotor (5, 16) vers l'extérieur en transformant l'énergie cinétique créée par le rotor (5, 16) 20 en énergie potentielle ; et

25 - un redresseur (8, 26) doté de pales (8c) et d'un orifice (8b) en sortie de diamètre inférieur au diamètre d'entrée du redresseur (8, 26), les pales (8c) dirigeant le fluide, en provenance du diffuseur (7, 22), vers l'orifice de façon à augmenter la vitesse et donner au fluide un profil prédéterminé en sortie de l'orifice.

2. Pompe selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle comprend en outre une chambre d'admission (3) pourvue d'ouvertures latérales pour que le fluide puisse pénétrer radialement puis s'engager dans l'axe vers 30 l'inducteur (4).

3. Pompe selon la revendication 2, caractérisée en ce que la chambre d'admission (3) est de forme cylindrique comportant sur sa partie supérieure en aval desdites ouvertures, un réceptacle pour accueillir l'inducteur (4).

- 23 -

4. Pompe selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle comporte en tout quatre pales hélicoïdales (18) identiques réparties de façon homogène autour du corps central.

5 5. Pompe selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que le corps central du rotor (5, 16) est de forme oblongue.

10 6. Pompe selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la tête du corps central est arrondie et dépourvue de pale.

15 7. Pompe selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que le diffuseur (7, 22) est un cylindre creux doté de pales de guidage droites réparties dans sa paroi interne et s'étendant de la périphérie vers le centre.

20 8. Pompe selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisée en ce que le diffuseur (7, 22) est un cylindre creux ayant, réparties dans sa paroi interne, des pales de guidage vrillées (7a) dans un sens inverse au sens d'enroulement de la pale hélicoïdale (18) autour du corps central.

25 9. Pompe selon la revendication 7 ou 8, caractérisée en ce que lorsque le corps central comporte une tête arrondie dépourvue de pales, le diffuseur (7, 22) coiffe cette tête arrondie, et chaque pale de guidage du diffuseur (7, 22) présente une forme complémentaire à une partie de la tête arrondie faisant face.

30 10. Pompe selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que le redresseur (8, 26) est disposé en aval du diffuseur (7, 22) selon le sens de circulation du fluide ; la paroi interne du redresseur (8, 26) étant de forme conique ; des pales de guidage (8c) droites étant disposées sur cette paroi interne.

35 11. Pompe selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que le diffuseur (7, 22) comporte une partie centrale en

- 24 -

forme d'ogive pointue vers l'aval, un cylindre autour de la base de l'ogive, des pales de guidage (7a) reliant ce cylindre à la base de l'ogive ; ce diffuseur (7, 22) étant destiné à venir en prise avec l'extrémité aval du rotor (5, 16) via un roulement permettant de garder le diffuseur (7, 22) fixe par rapport au rotor 5 (5, 16).

12. Pompe selon la revendication 11, caractérisée en ce que les pales de guidage du diffuseur (7, 22) sont vrillées dans un sens inverse au sens d'enroulement de la pale hélicoïdale (18) autour du corps central.

10

13. Pompe selon la revendication 11 ou 12, caractérisée en ce que le redresseur (8, 26) est disposé en aval du diffuseur (7, 22) selon le sens de circulation du fluide ; des pales de guidage sont droites et sont conçues de façon à laisser pénétrer la tête de l'ogive dans la partie centrale du 15 redresseur (8, 26).

20 14. Pompe selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'ensemble rotor (5, 16) et pale hélicoïdale (18) présente un profil de type centrifuge du côté amont, de type mixte dans la partie centrale, et de type axial du côté aval.

25 15. Pompe selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la partie du côté amont de l'ensemble corps central et pale hélicoïdale (18) est dimensionnée pour une vitesse spécifique comprise entre 0 et 1.2.

30 16. Pompe selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la partie centrale de l'ensemble corps central et pale hélicoïdale (18) est dimensionnée pour une vitesse spécifique comprise entre 1 et 2.2.

35 17. Pompe selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la partie centrale de l'ensemble corps central et pale hélicoïdale (18) est dimensionnée pour une vitesse spécifique supérieure à 2.2.

- 25 -

18. Pompe selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle comporte un arbre (17) d'entrainement et de maintien du rotor (5, 16), cet arbre étant fixé sur l'extrémité amont du rotor (5, 16) et traversant la chambre d'admission (3) dans sa zone axiale.

5

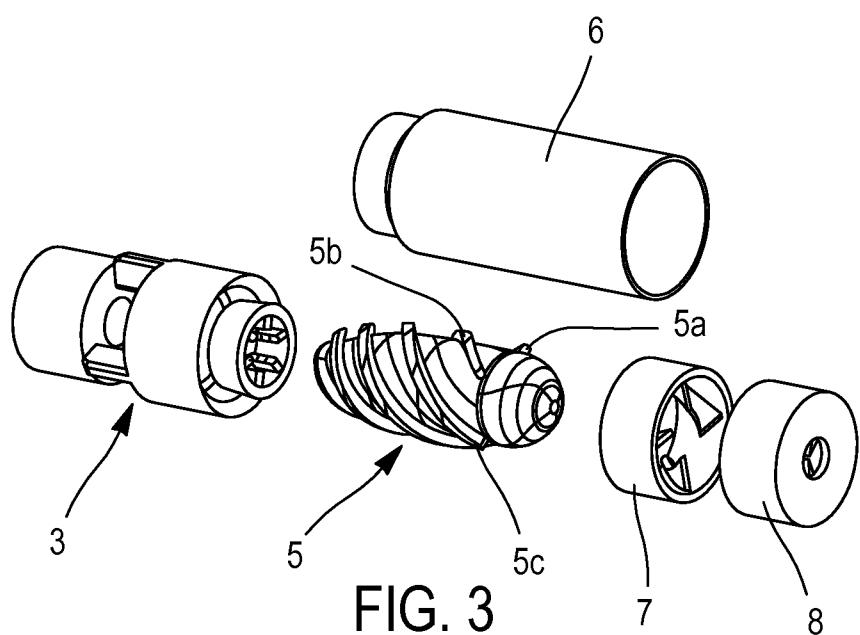
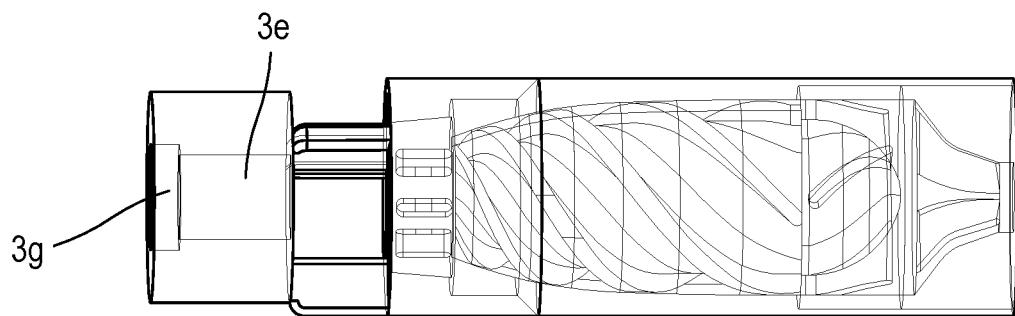
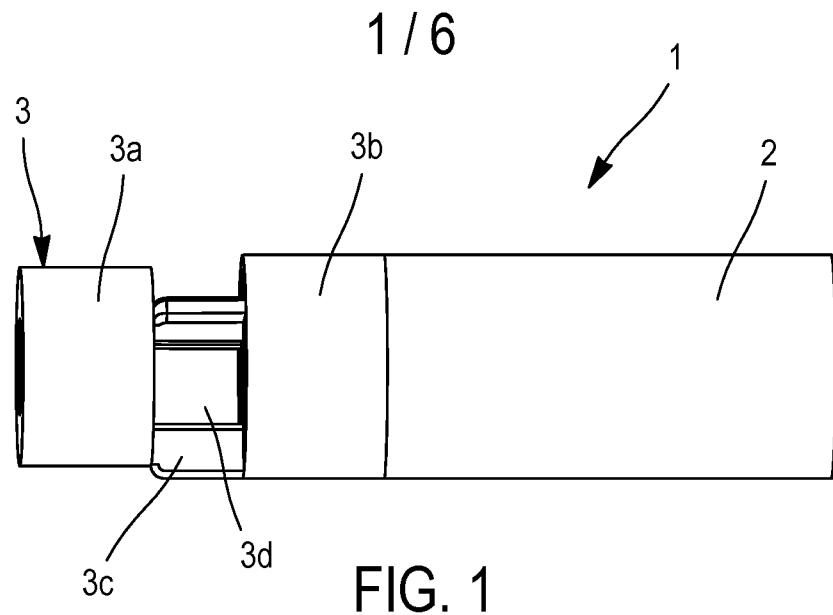
19. Pompe selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la chambre d'admission (3), l'inducteur, le carter (6) et le diffuseur (7, 22) sont conçus en une seule pièce (12) ou sont fermement fixés les uns aux autres sans mouvements relatifs, le rotor (5, 16) étant 10 maintenu mobile en rotation dans le carter (6).

20. Pompe selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que ladite au moins une pale hélicoïdale (18) présente une hauteur radiale identique sur toute sa longueur.

15

21. Pompe selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que ladite au moins une pale hélicoïdale (18) présente une hauteur radiale variable sur toute sa longueur.

20



2 / 6

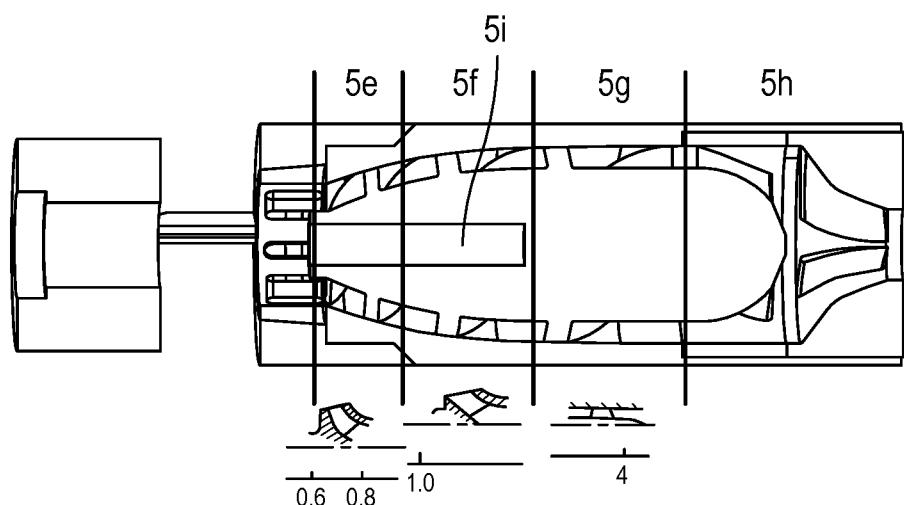


FIG. 4

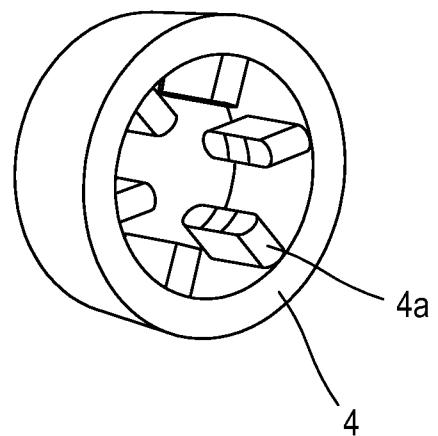
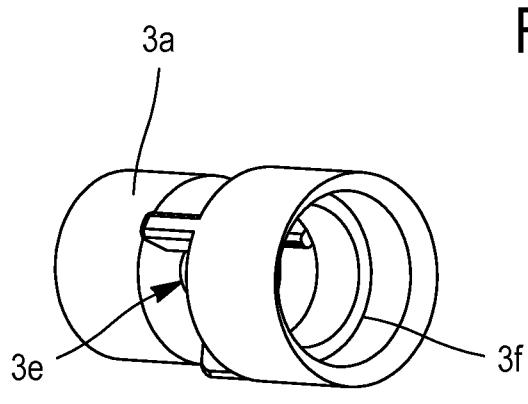


FIG. 5

FIG. 6

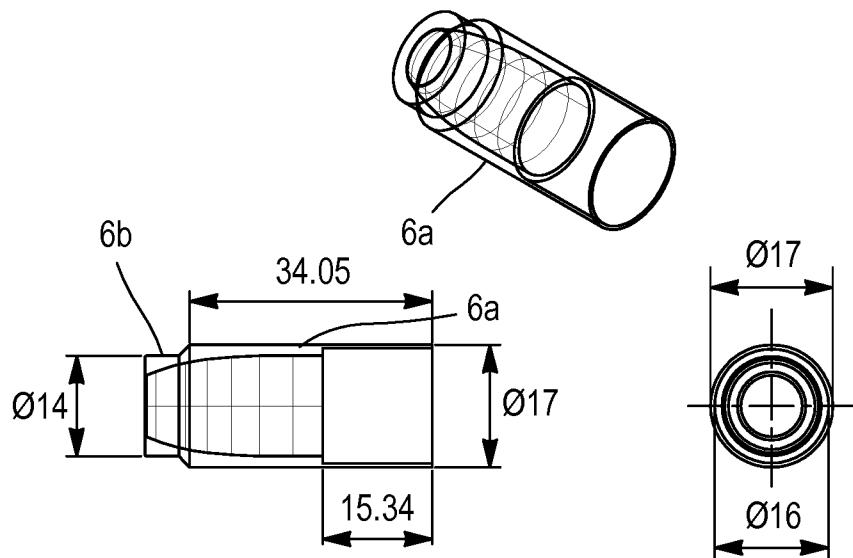


FIG. 7

3 / 6

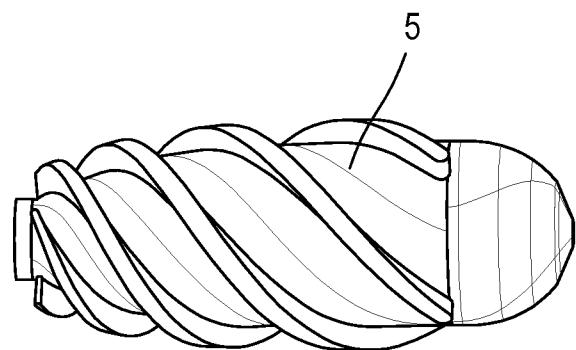


FIG. 8

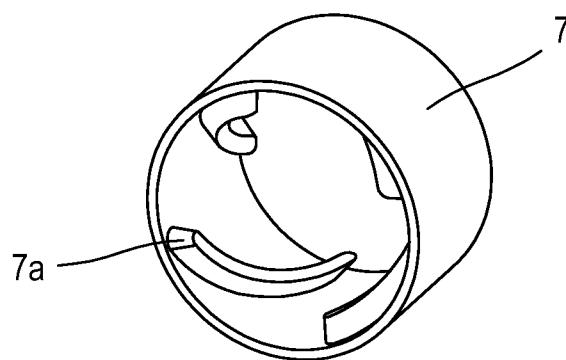


FIG. 9

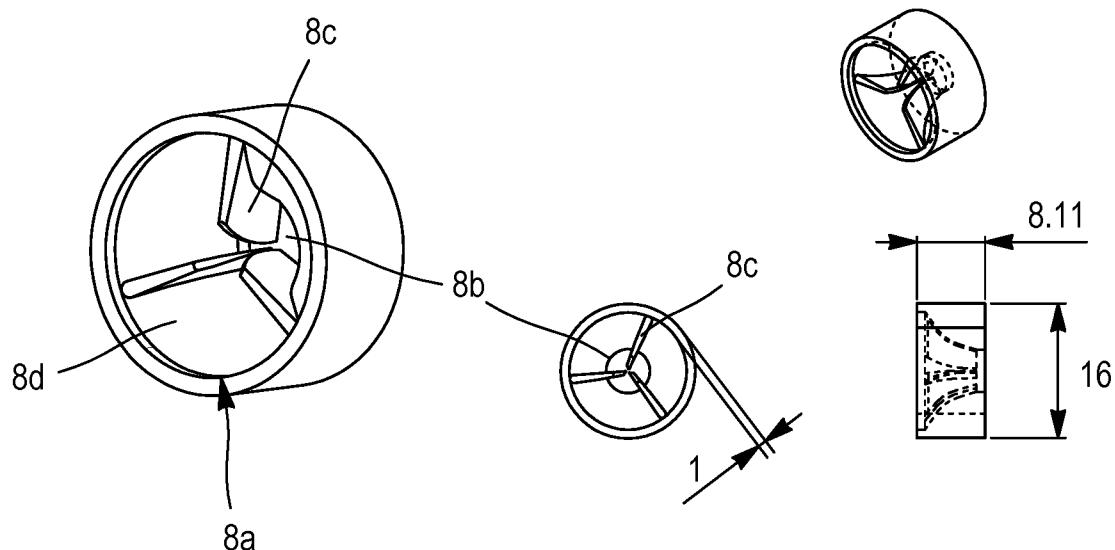


FIG. 10

4 / 6

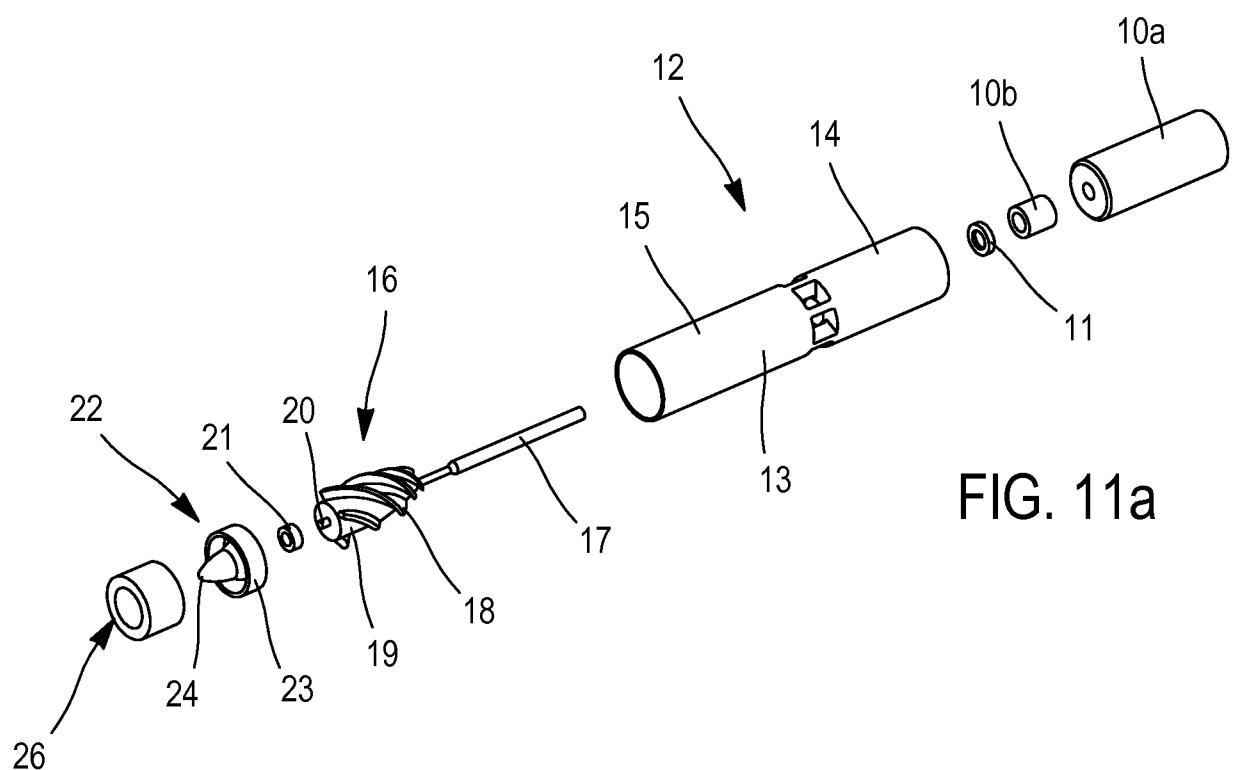


FIG. 11a

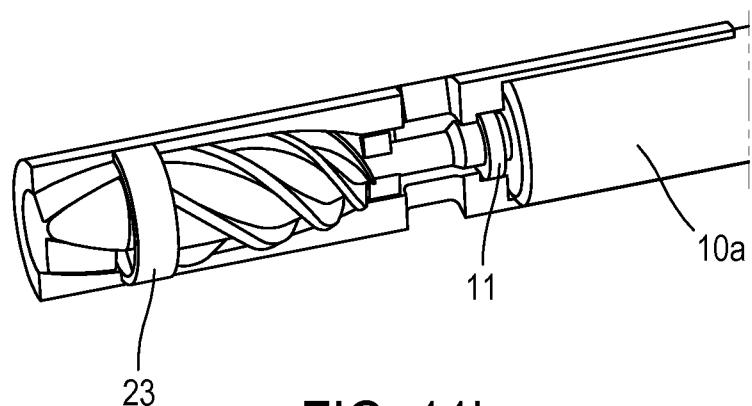


FIG. 11b

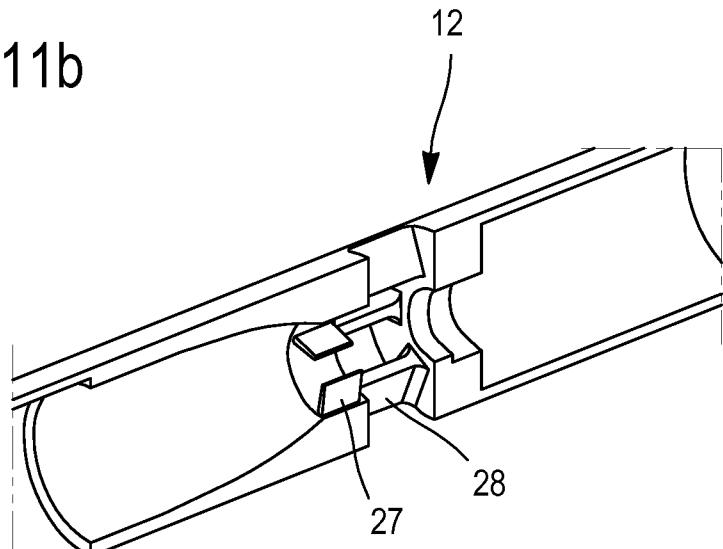


FIG. 11c

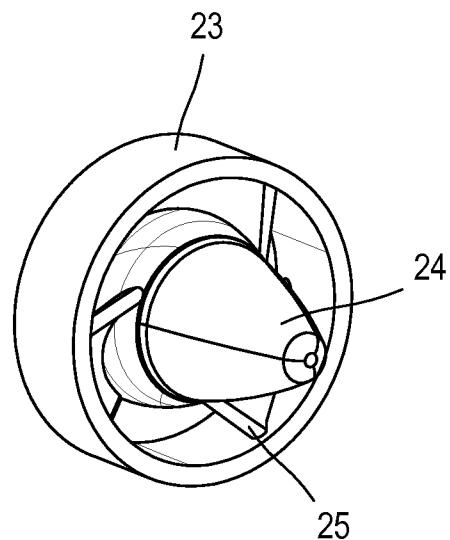


FIG. 12

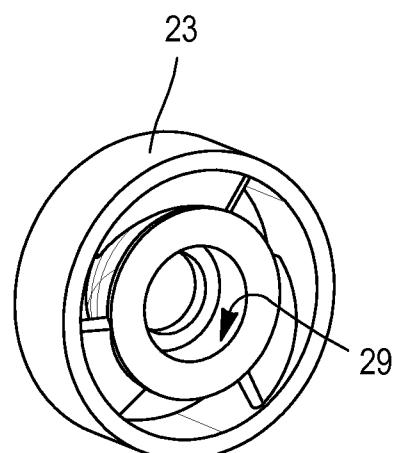


FIG. 13

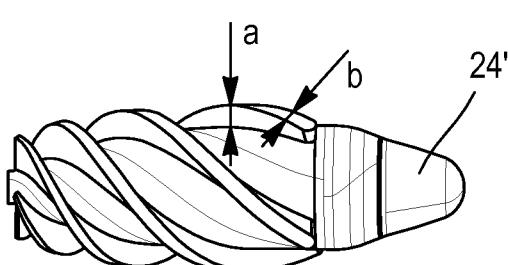


FIG. 14

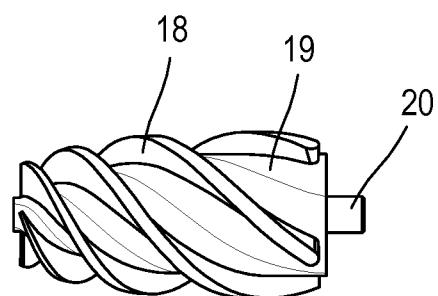


FIG. 15

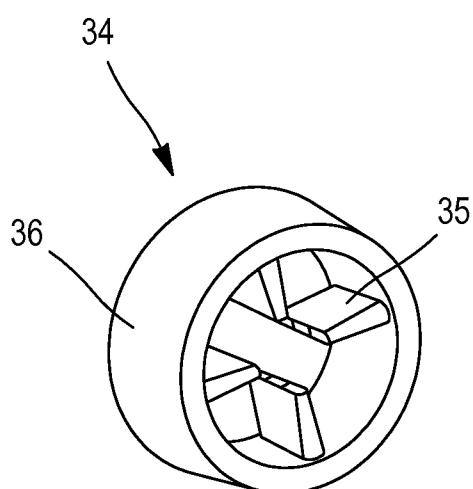


FIG. 16

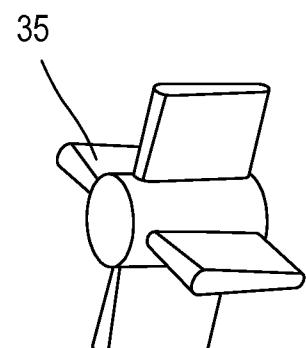


FIG. 17

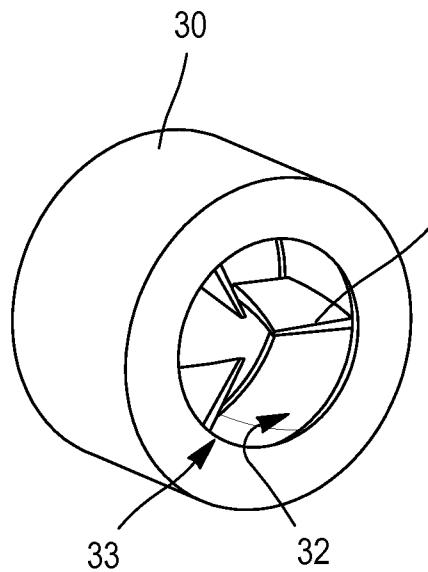


FIG. 18

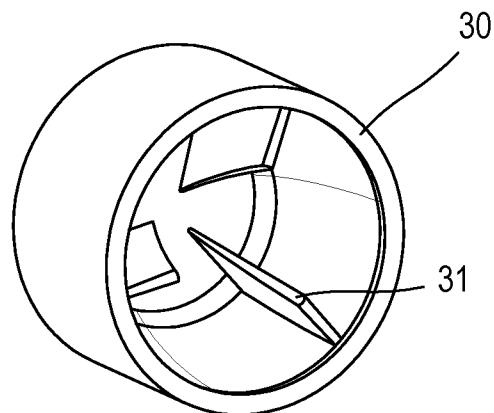


FIG. 19

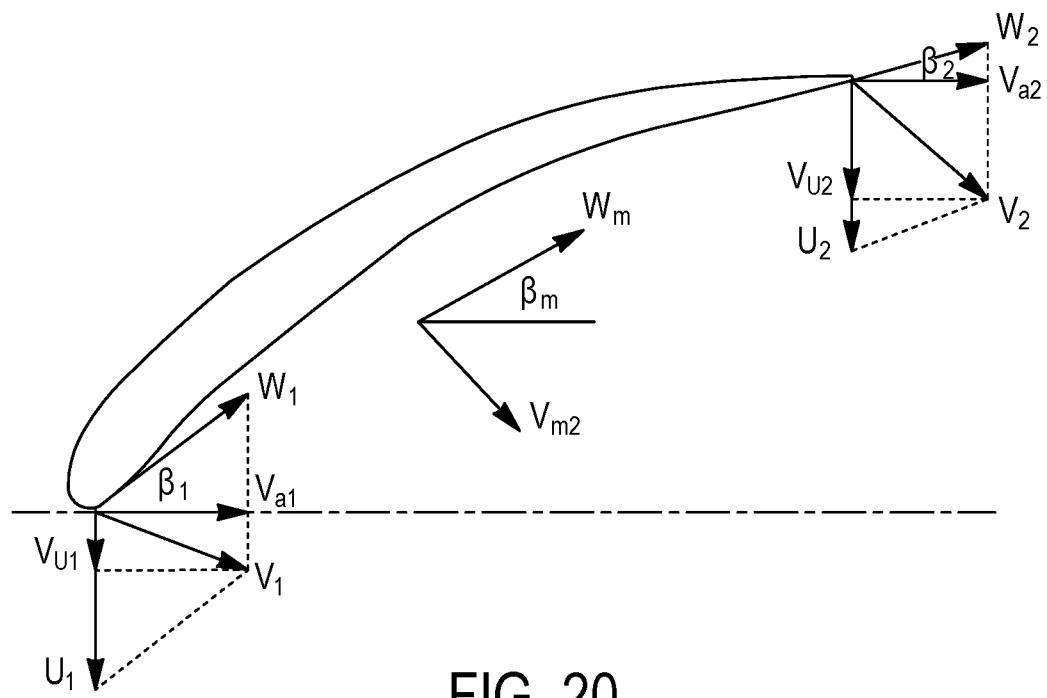


FIG. 20

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2016/067121

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 INV. A61M1/10 A61M1/12  
 ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
**A61M**

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**EPO-Internal**

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2014/341726 A1 (WU JINGCHUN [US] ET AL) 20 November 2014 (2014-11-20)	1
Y	abstract; figures	2
A	paragraphs [0028], [0034], [0049] -----	3-21
Y	JP H07 178163 A (SAN MEDICAL GIJUTSU KENKYUSHO) 18 July 1995 (1995-07-18) abstract; figures	2
A	EP 1 481 698 A2 (UNITED STATES SURGICAL CORP [US]) 1 December 2004 (2004-12-01) abstract; figures	1-3
	-----	



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

13 September 2016

21/09/2016

Name and mailing address of the ISA/  
 European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Walvoort, Bert

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No  
PCT/EP2016/067121

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2014341726	A1	20-11-2014	NONE
JP H07178163	A	18-07-1995	NONE
EP 1481698	A2	01-12-2004	NONE

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2016/067121

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
INV. A61M1/10 A61M1/12  
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

A61M

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2014/341726 A1 (WU JINGCHUN [US] ET AL) 20 novembre 2014 (2014-11-20)	1
Y	abrégé; figures	2
A	alinéas [0028], [0034], [0049] -----	3-21
Y	JP H07 178163 A (SAN MEDICAL GIJUTSU KENKYUSHO) 18 juillet 1995 (1995-07-18) abrégé; figures	2
A	EP 1 481 698 A2 (UNITED STATES SURGICAL CORP [US]) 1 décembre 2004 (2004-12-01) abrégé; figures	1-3
	-----	

Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

13 septembre 2016

21/09/2016

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2

NL - 2280 HV Rijswijk

Tel. (+31-70) 340-2040,

Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Walvoort, Bert

**RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE**

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2016/067121

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2014341726	A1	20-11-2014	AUCUN
JP H07178163	A	18-07-1995	AUCUN
EP 1481698	A2	01-12-2004	AUCUN