

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Pompe cardiaque à couplage magnétique et à flux inverse.

②② Date de dépôt : 10.04.19.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *FINEHEART Société Anonyme à
conseil d'administration* — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 16.10.20 Bulletin 20/42.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 02.12.22 Bulletin 22/48.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : HADDADI Mohammad, GARRIGUE
Stéphane, HADDADI Maryam, BREDENBREUKER
Lars et MASCARELL ARNAUD.

⑦③ Titulaire(s) : *FINEHEART Société Anonyme à
conseil d'administration.*

⑦④ Mandataire(s) : IPAZ.



Description

Titre de l'invention : Pompe cardiaque à couplage magnétique et à flux inverse.

- [0001] La présente invention se rapporte à une pompe, notamment axiale, destinée à être immergée dans un fluide.
- [0002] La présente concerne plus particulièrement mais pas uniquement 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.
- [0003] L'insuffisance cardiaque (IC), incapacité progressive du cœur à fournir un débit sanguin nécessaire aux besoins métaboliques d'un individu dans la vie courante, est la seconde cause de mortalité dans les pays occidentaux. Le traitement de l'insuffisance cardiaque, qui consiste à augmenter le débit sanguin de façon adaptée aux besoins du patient, progresse mais reste encore insuffisant.
- [0004] On connaît aussi le document US6234772 décrivant une pompe rotative implantable. Cette pompe est de type à entraînement magnétique et permet de forcer la circulation du sang en évitant toute zone stagnante. Ce document reste muet quant à une quelconque mise en place efficace de la pompe.
- [0005] On connaît également le document EP2734251 B1 décrivant une pompe miniaturisée adaptée à une implantation cardiaque. Dans ce document l'accent est mis sur le fait que la circulation du sang à travers la pompe doit être à flux constante, sans zones de stase d'écoulement susceptibles de provoquer la formation de thromboses. Il est préconisé de laver les roulements avec un apport constant de sang frais car la chaleur et les contraintes géométriques de ces zones les rendent potentiellement prédisposés à la formation de thromboses.
- [0006] Ces deux documents de l'art antérieur concernent une pompe cardiaque de type centrifuge et réalisant un bypass à l'extérieur du cœur.
- [0007] La présente invention a pour but une pompe intraventriculaire qui aspire du sang à l'intérieur du cœur et rejette ce sang également à l'intérieur du cœur en direction des valves.
- [0008] La présente invention a aussi pour but une pompe intraventriculaire dont le fonctionnement évite toute création de thromboses.
- [0009] On atteint au moins l'un des objectifs avec une pompe destinée à être immergée dans un fluide, comprenant :
- [0010] - un carter fixe doté d'une partie supérieure formant chambre de propulsion de fluide vers l'extrémité supérieure, et une partie inférieure formant stator et reliée de manière fixe à la partie supérieure,

- [0011] - au moins une ouverture latérale entre la partie supérieure et la partie inférieure, et formant une chambre d'admission du fluide depuis l'extérieur vers la chambre de propulsion,
- [0012] - un bloc moteur formé par :
 - ledit stator dans lequel sont disposés des premiers éléments magnétiques,
 - un rotor sous la forme d'une cloche coiffant au moins partiellement la tête du stator et comprenant des seconds éléments magnétiques destinés au couplage magnétique avec les premiers éléments magnétiques du stator, la cloche ayant au moins une ouverture sur sa partie supérieure de façon à créer un flux inverse du fluide depuis la chambre d'admission jusqu'à la base du stator via un passage entre le rotor et le stator,
- [0013] - un arbre de transmission comprenant au moins un bras de liaison permettant de maintenir la cloche au-dessus du stator, l'axe de l'arbre de transmission étant superposé avec l'axe de rotation de la cloche.
- [0014] La pompe selon l'invention est de préférence une pompe axiale. C'est-à-dire que le déplacement du fluide est parallèle à l'axe de rotation du rotor, la poussée est axiale.
- [0015] Avec la pompe selon l'invention, on crée un flux inverse au flux principal destiné à traverser la pompe. Le circuit de circulation conventionnel du fluide démarre par une admission par la chambre d'admission, un passage dans le carter supérieur, puis une propulsion vers l'orifice de sortie supérieur de la quantité de fluide utile. La présente invention est notamment remarquable par le fait que son arrangement permet de créer un flux en sens inverse du flux principal. Ce flux inverse est éjecté vers la base du stator et joue ainsi un rôle de flux de nettoyage. En d'autres termes, par une disposition astucieuse d'ouverture dans la cloche, on utilise le mouvement de rotation prévu pour le flux principal, pour créer un flux inverse.
- [0016] La cloche et le stator constituent avantageusement un moteur sans balais, ou « moteur brushless », à rotor externe. La partie mobile, qui est la cloche dans la présente invention, est donc située à l'extérieur du stator et est reliée à l'arbre de transmission qui comme on le verra plus loin sert de moyen de propulsion ou de turbine pour propulser le fluide vers la tête du carter puis vers l'extérieur.
- [0017] De préférence, la liaison entre la cloche et l'arbre de transmission est rigide.
- [0018] Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, la pompe peut comprendre des pales latérales disposées entre la cloche et l'arbre de transmission et destinées à guider le flux inverse dans le passage entre le rotor et le stator.
- [0019] Ces pales latérales peuvent être orientées ou présenter une courbure. Une telle réalisation permet de guider efficacement le fluide dans le passage entre le rotor et le stator et créer ainsi le fluide inverse. Les dimensions et formes des pales peuvent être déterminées de façon à obtenir un flux continu ou pulsé, sans cavitation et laminaire. Avec la configuration du moteur, il est prévu d'atteindre des vitesses de 15 à 60 cm/s,

en fonction de la vitesse de rotation des pales et donc du moteur. De préférence, le passage entre le rotor et le stator présente une largeur comprise entre 0.4 et 1mm, par exemple 0.6mm.

- [0020] Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, les bras de liaison constituent lesdites pales latérales. Ces pales latérales peuvent être disposées entre la paroi interne de la cloche et l'arbre de transmission, mais elles peuvent également être réalisées dans le prolongement de l'extrémité supérieure de la cloche, semblable à une cloche fermée à laquelle des ouvertures auraient été réalisées en laissant des arêtes de liaison. D'autres modes de réalisations peuvent être envisagés pour rendre solidaire la cloche et l'arbre de transmission en utilisant ou non directement les pales.
- [0021] De préférence, l'ouverture est de forme circulaire tout autour de l'arbre de transmission.
- [0022] Selon un mode de réalisation avantageux, la pompe selon l'invention peut être une pompe cardiaque intraventriculaire destinée à être fixée à l'apex d'un cœur, le passage entre le rotor et le stator débouchant directement dans la zone de rencontre entre la paroi interne du ventricule et la paroi externe du stator. Ainsi, le passage entre le rotor et le stator débouche dans la zone où le risque de thrombose est élevé. Le fluide inverse a pour rôle de créer une circulation du fluide dans cette zone de façon à éviter toute stagnation.
- [0023] Par ailleurs, la pompe peut présenter des dimensions telles que la chambre d'admission se trouve à une distance de 1 à 3 cm de l'apex et l'orifice de sortie de la pompe se trouve à l'intérieur du ventricule à une distance de 1 à 3 cm en amont de la valve aortique. Une telle réalisation concerne le domaine des pompes cardiaques intégrées dans le ventricule, pompant et éjectant le sang dans le cœur dans la direction de la valve aortique.
- [0024] Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, en fonctionnement la cloche et l'arbre de transmission sont destinés à être en sustentation magnétique grâce aux éléments magnétiques, l'extrémité inférieure de l'arbre de transmission et l'extrémité supérieure du stator peuvent alors coopérer de façon à maintenir l'arbre de transmission dans son axe de révolution en phase de rotation.
- [0025] Un système de bagues et roulements peut être utilisé pour le maintien de l'arbre de transmission, mais la présente invention utilise de préférence le maintien en sustentation par pivot.
- [0026] L'extrémité supérieure du stator peut comporter une zone de pivot concave apte à recevoir l'extrémité inférieure convexe, dite pivot d'entrée, de l'arbre de transmission. Avec une telle réalisation, en fonctionnement, le fluide passe entre le pivot d'entrée et la zone de pivot de façon à éviter au maximum la thrombose en maintenant un rinçage permanent de cet interstice entre les pièces concave du stator et convexe du rotor.

- [0027] En phase de repos, l'arbre de transmission peut se reposer sur le stator, dans ce cas le pivot d'entrée et la zone de pivot sont notamment en contact. Mais en fonctionnement, il existe un espacement entre le pivot d'entrée et la zone de pivot. Cet espacement permet à la fois la rotation de l'arbre de transmission et à la fois le maintien de cet arbre de transmission dans son axe de révolution.
- [0028] Selon une variante, l'extrémité supérieure du stator peut comporter une zone de pivot convexe apte à recevoir l'extrémité inférieure concave, dite pivot d'entrée, de l'arbre de transmission. Le principe de fonctionnement reste identique au cas où le pivot d'entrée est convexe. D'autres arrangements peuvent être envisagés avec des formes plus ou moins complexes mais permettant à la fois la libre rotation et le maintien dans l'axe de révolution (ou de rotation) de l'arbre de transmission.
- [0029] Selon un mode de réalisation avantageux de l'invention, l'arbre de transmission peut comporter ou être connecté à une partie supérieure dotée de pales, par exemple hélicoïdales, permettant une aspiration de fluide principal depuis la chambre d'admission vers la sortie de la pompe.
- [0030] En complément notamment de ce qui précède, la pompe selon l'invention peut comprendre :
- [0031] - à l'entrée de la partie supérieure du carter, un inducteur doté de pales de guidage pour rendre l'écoulement du fluide linéaire en direction de la partie supérieure de l'arbre de transmission ;
- [0032] - la partie supérieure de l'arbre de transmission peut être un propulseur comprenant un corps central de forme évasée et destiné à créer de l'énergie cinétique;
- [0033] - au moins une pale hélicoïdale réalisée autour dudit corps central; cette pale hélicoïdale ayant un profil extérieur évasé et comportant des spires à pas d'enroulement croissant et tendant vers l'infini ; le volume intérieur du carter étant complémentaire à la forme évasée de ladite au moins une pale hélicoïdale.
- [0034] L'arbre de transmission entraîne donc une turbine ou un propulseur doté de pales pour aspirer efficacement le fluide depuis la chambre d'admission et l'éjecter en sortie de la pompe. De ce fait, la pompe joue son rôle de circulation du fluide dans le sens principal. En même temps, le fluide inverse permet de remuer le fluide présent dans la base du stator et éviter ainsi une stagnation, source d'éventuelles thromboses.
- [0035] Selon un autre mode de réalisation de l'invention, la partie supérieure de l'arbre de transmission est un propulseur pouvant comprendre une tige dans l'axe centrale fixée à une turbine conçue pour effectuer des mouvements de rotation relativement au carter, cette turbine étant un cylindre creux d'axe de révolution confondu avec ladite tige et destiné au passage du flux principal du fluide, cette turbine comprenant au moins une pale interne disposée sur sa paroi interne et conçue pour faire circuler le fluide provenant de la chambre d'admission.

- [0036] Selon un mode de réalisation avantageux de l'invention, la partie supérieure de l'arbre de transmission est un propulseur pouvant comprendre un corps destiné à créer de l'énergie cinétique, ce corps comprenant à son sommet un pivot de sortie apte à coopérer avec un guide fixé au carter, ce guide présentant une forme complémentaire à celle du pivot de sortie de façon à maintenir ce pivot de sortie stable en rotation et à former un espacement entre le pivot de sortie et le guide. Selon l'invention, ce guide comprend une ouverture centrale dans l'axe de révolution du pivot de sortie pour un passage de fluide depuis l'intérieur du carter vers l'extérieur via l'espacement et l'ouverture.
- [0037] L'espacement peut présenter une largeur entre 20 et 80 μm . A titre d'exemple, on peut envisager un espacement de 50 μm et une vitesse de fonctionnement du moteur à 4000 tr/min.
- [0038] Avec la pompe selon l'invention, l'ouverture centrale dans le guide permet le passage du fluide et évite la stagnation de fluide dans le creux du guide lorsque celui-ci ne présente pas d'ouverture. Avec l'invention, on crée un interstice entre le pivot de sortie et le guide pour le passage de fluide lorsque la pompe est en fonctionnement. Avantageusement, un flux est ainsi maintenu dans cet interstice de sorte que le fluide, qui est notamment du sang, n'y stagne pas.
- [0039] Cette disposition ne gêne en rien la fonction du guide qui est de maintenir la turbine dans son axe lors des rotations et dans le carter.
- [0040] En fonctionnement, il existe donc un espacement entre le pivot de sortie et le guide. Cet espacement permet à la fois la rotation de l'arbre de transmission et à la fois le maintien de cet arbre de transmission dans son axe de révolution.
- [0041] Selon l'invention, le pivot de sortie peut présenter une forme convexe et le guide peut alors comprendre une ouverture centrale dans l'axe de révolution du pivot de sortie pour le passage de fluide depuis l'intérieur du carter vers l'extérieur. Une telle réalisation permet le passage du fluide et évite la stagnation de fluide dans le creux du guide lorsque celui-ci ne présente pas d'ouverture.
- [0042] De préférence, le pivot de sortie comprend une protubérance pénétrant dans l'ouverture du guide.
- [0043] La protubérance permet de guider efficacement le passage du fluide.
- [0044] Selon l'invention, le guide peut être constitué d'au moins une pale d'un redresseur (« straightener » en anglais) et/ou d'un diffuseur (« inducer » en anglais). En effet, la pompe peut être équipée d'un redresseur et/ou d'un diffuseur disposé à l'intérieur du carter au niveau du sommet de la turbine. On peut donc utiliser un redresseur seul, un diffuseur seul, un redresseur et un diffuseur ou un unique composant faisant office de redresseur et diffuseur. Le redresseur et/ou le diffuseur est fixé au carter et comporte des pales, qui pour une pompe cardiaque intraventriculaire, dirigent le fluide de sortie

vers l'aorte.

- [0045] Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, le pivot de sortie peut être convexe de forme demi-sphérique, conique ou pyramidale.
- [0046] Avantageusement, la pompe selon l'invention peut être une pompe cardiaque intra-ventriculaire destinée à être fixée à l'apex d'un ventricule gauche ou d'un ventricule droit ou d'un ventricule systémique.
- [0047] 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 :
- [0048] [fig.1] est une vue générale d'une pompe cardiaque intraventriculaire selon l'invention,
- [0049] [fig.2] est une vue schématique d'une partie inférieure de la pompe selon l'invention,
- [0050] [fig.3] est une vue schématique d'une turbine selon l'invention,
- [0051] [fig.4] est une vue schématique d'une partie supérieure de la pompe comprenant un pivot de rotation de la turbine selon l'invention,
- [0052] [fig.5] est une vue schématique très simplifiée d'un redresseur selon l'invention,
- [0053] [fig.6] est une vue schématique d'une partie supérieure de la pompe comprenant illustrant un autre mode de réalisation d'un pivot de rotation de la turbine selon l'invention.
- [0054] Les modes de réalisation qui seront décrits dans la suite ne sont nullement limitatifs; on pourra notamment mettre en œuvre des variantes de l'invention ne comprenant qu'une sélection de caractéristiques décrites par la suite isolées des autres caractéristiques décrites, si cette sélection de caractéristiques est suffisante pour conférer un avantage technique ou pour différencier l'invention par rapport à l'état de la technique antérieur. Cette sélection comprend au moins une caractéristique de préférence fonctionnelle sans détails structurels, ou avec seulement une partie des détails structurels si cette partie uniquement est suffisante pour conférer un avantage technique ou pour différencier l'invention par rapport à l'état de la technique antérieur.
- [0055] En particulier toutes les variantes et tous les modes de réalisation décrits sont prévus pour être combinés entre eux dans toutes les combinaisons où rien ne s'y oppose sur le plan technique.
- [0056] Sur les figures, les éléments communs à plusieurs figures conservent la même référence.
- [0057] Sur la figure 1 est illustrée une pompe cardiaque intraventriculaire.
- [0058] Le cœur est globalement désigné par la référence 1. On distingue le ventricule droit 2 qui a pour fonction d'éjecter le sang vers l'artère pulmonaire 3 à travers des valves sigmoïdes 4. Le ventricule gauche 5 a pour fonction de réaliser la circulation systémique en éjectant le sang rempli d'oxygène vers l'aorte 6 via des valves

sigmoïdes 7.

- [0059] L'oreillette droite 8 alimente le ventricule droit 2 en sang via des valves auriculo-pulmonaires 9. L'oreillette gauche 10 alimente le ventricule gauche 5 en sang via les valves auriculo-pulmonaires 11.
- [0060] La pompe selon l'invention est globalement référencée en 12. Elle est fixée à l'apex du ventricule gauche 5. Elle peut être connectée de façon filaire ou sans fil à une unité de gestion (non représentée) externe au cœur. Elle peut être connectée à une ou plusieurs sondes ou capteurs (non représentés) pour la détection du rythme cardiaque ou autre.
- [0061] La partie inférieure de la pompe logeant le moteur peut être partiellement à l'extérieur du cœur, partiellement dans l'épaisseur de l'apex ou entièrement dans le cœur. Dans l'exemple de la figure 1, la partie inférieure de la pompe est partiellement à l'extérieur du cœur ce qui peut être un avantage pour la maintenance du moteur notamment.
- [0062] La pompe comprend un carter composé d'une partie supérieure 13 reliée de façon rigide à une partie inférieure 14 au moyen d'éléments de liaison 15. Ces éléments de liaison peuvent comprendre une ou plusieurs tiges 15 reliant les deux parties 13 et 14 tout en laissant de larges passages pour le sang.
- [0063] La partie inférieure 14 constitue le stator d'un moteur. Le carter est destiné à rester fixe. Entre la partie supérieure 13 et la partie inférieure 14, se trouve une chambre d'admission 16 qui est un espace ouvert, seulement entravé par les éléments de liaisons 15. En fonctionnement, la pompe est prévue pour aspirer le sang contenu dans le ventricule 5 via la chambre d'admission 16, le conduire à travers la partie supérieure 13 du carter et l'éjecter par la sortie supérieure vers la valve 7.
- [0064] Pour aspirer le sang, la pompe comprend une turbine (« impeller » en anglais) 17 conçue à partir d'un corps oblongue 18 autour duquel est enroulée une ou plusieurs pales hélicoïdales 19. En rotation, la turbine aspire le sang et le propulse vers la sortie. Il s'agit de la fonction principale de la pompe. Le flux principal est donc celui qui est pompé par la turbine 17.
- [0065] La turbine est portée par un arbre de transmission 20 qui comporte à l'extrémité opposée de la turbine une cloche 21. L'ensemble turbine 17, arbre de transmission 20 et cloche 21 est rigide et apte à effectuer des rotations. Pour ce faire, la cloche 21 constitue le rotor du moteur formé avec le stator fixe 14. Ce moteur 14 et 21 est un moteur de type « brushless » à rotor externe. Il s'agit d'une machine synchrone dotée d'un système électronique de commande (non représenté) accessible de l'extérieur du cœur ou non.
- [0066] La turbine est apte à réaliser des mouvements de rotation selon son axe et relativement au carter 13, 14 qui reste fixe. Dans l'axe de rotation de la turbine se trouve

un pivot d'entrée 31 et un pivot de sortie 33 qui maintiennent la turbine dans son axe lorsque celle-ci est en sustentation magnétique lors des mouvements de rotation. Dans une variante non représentée, l'une ou les deux zones de pivot peuvent comprendre des liaisons à roulements autorisant la rotation de la turbine.

- [0067] Sur la figure 2, on distingue un peu plus en détail la chambre d'admission 16 et le moteur 14, 21. La chambre d'admission 16 est l'espace ouvert entre l'arbre de transmission 20, la cloche 21 et le carter supérieur 13.
- [0068] Des enroulements statoriques 22 sont disposés dans le stator 14 à proximité d'aimants permanents 23 disposés dans la cloche 21, l'ensemble étant conçu en combinaison avec d'autres composants notamment électroniques (non représentés) pour constituer un moteur brushless.
- [0069] L'arbre de transmission 20 est rigidement relié à la cloche 21 au moyen de pales latérales 24. L'activation du champ magnétique statorique par des moyens électroniques entraîne la rotation de la cloche 21, par conséquent la rotation de l'arbre de transmission 20 ainsi que de la turbine 17. Le fluide contenu dans le ventricule et tout autour de la pompe, pénètre par la chambre d'admission 16, continue dans la partie supérieure 13 du carter via un inducteur 25. Ce flux de fluide montant selon la représentation de la figure 2 est le flux principal 26. Selon l'invention, la cloche 21 présente une ouverture supérieure 27 à travers laquelle une partie du fluide est amenée à circuler. Il s'agit d'un flux inverse 28 descendant selon le schéma de la figure 2. Ce flux inverse est maintenu continu et laminaire grâce aux pales latérales 24 qui le guide vers un passage 29 présent entre la cloche 21 et le stator 14. Ce passage 29 amène le flux inverse 28 jusque dans la zone 30 au pied du stator. Cette zone 30 constitue un coin dans lequel le fluide, c'est-à-dire le sang dans le présent exemple, peut stagner. Le fait de générer un flux inverse de ce type en utilisant le mouvement de rotation de la turbine permet de maintenir un mouvement dans ce coin, donc d'éviter la stagnation du sang. On évite ainsi toute formation de thrombose.
- [0070] La pale latérale 24 a une fonction de liaison entre l'arbre de transmission 20 et la cloche 21 et une fonction de guidage du sang vers le passage 29. Cette pale latérale 24 est reliée par une extrémité à une partie supérieure de la cloche 21, s'étend au-dessus de cette cloche, et est reliée par une autre extrémité à une partie basse de l'arbre de transmission 20. Ainsi disposée, la pale latérale 24 présente une partie centrale dans la chambre d'admission 16. Le passage 29 est l'entrefer entre le rotor et le stator et débouche au niveau de l'apex. Le passage 29 ne comporte pas de courbure prononcée afin d'éviter la création de zone de stagnation.
- [0071] En rotation, l'arbre de transmission est en sustentation magnétique. L'extrémité inférieure de l'arbre de transmission comporte une zone arrondie convexe et constitue le pivot d'entrée 31. La partie supérieure du stator est en forme arrondie concave et

constitue une zone de pivot 32. Le pivot d'entrée 31 et la zone de pivot 32 présentent des formes complémentaires qui peuvent s'épouser parfaitement. En position de repos, le pivot d'entrée 31 repose dans la zone de pivot 32. En rotation, l'arbre de transmission est en sustentation et un espacement se crée entre le pivot d'entrée 31 et la zone de pivot 32. Toutefois, la zone de pivot 32 est conformée de façon à maintenir le pivot d'entrée 31 dans son axe de rotation. La forme convexe du pivot d'entrée 31 permet en outre le passage du flux inverse dans l'espacement entre le pivot d'entrée 31 et la zone de pivot 32. Ce qui permet le nettoyage permanent de cette zone, donc peu de risque pour une stagnation sanguine.

- [0072] Sur la figure 3 est représentée un peu plus en détail la turbine 17 reliée à l'arbre de transmission 20 et à la cloche 21. Le pivot de sortie 33, en forme de demi-sphère, se trouve au sommet de la turbine et dans l'axe de rotation. Les pales hélicoïdales 19 entourent le corps 18 depuis le pied jusqu'à couvrir environ les trois-quarts du corps 18. Le sommet de la turbine est dépourvu de pales.
- [0073] L'arbre de transmission 20 est solidement connecté à des pales latérales 24 dont deux sont visibles et une troisième cachée. Les pales latérales sont au nombre de trois, mais il peut y en avoir qu'une, deux ou plus que trois. Dans tous les cas, les pales latérales 24 doivent laisser des ouvertures 27 pour que le fluide puisse pénétrer à l'intérieur de la cloche 21. Dans l'exemple illustré sur les figures, le pivot d'entrée 31 se trouve au-dessus de la cloche 21, mais on peut envisager d'autres modes de réalisation où le pivot d'entrée est disposé à l'intérieur de la cloche 21.
- [0074] Avec la pompe selon l'invention, l'arbre de transmission n'est pas mécaniquement connecté au stator du moteur.
- [0075] Sur la figure 4 est représentée un peu plus en détail une partie supérieure de la pompe. On distingue la turbine 17 qui propulse le flux principal 26 vers la sortie de la pompe au moyen des pales 19. Le maintien en place de la turbine est assuré par la présence du pivot de sortie 33 de forme arrondie convexe. Il s'agit d'une demi-sphère. Ce pivot de sortie 33 est destinée à effectuer des mouvements de rotation, ensemble avec la turbine, tout en restant cantonnée dans une niche réalisée dans un guide fixe 34 reliée à la partie supérieure du carter 13. La niche est formée par des découpes 37 réalisées dans le guide 34. A forme de la niche est complémentaire à celle du pivot de sortie 33. D'autres formes que celle de la demi-sphère peuvent être envisagées, telles que par exemple une forme conique. Cette niche constitue une zone de pivot pour le pivot de sortie 33.
- [0076] Les deux zones de pivot 32 et 37 permettent de maintenir l'ensemble turbine et arbre de transmission dans son axe de rotation et dans une zone de débattement verticale (selon le sens des schémas) assez limitée. De la même manière, pour éviter une stagnation du sang dans le guide 34, une ouverture 35 est réalisée au centre de ce guide

de façon à permettre au sang de circuler et de ne plus stagner dans le guide. En effet, entre la zone 37, formant guide, et le pivot de sortie 33 se trouve un espacement 35a, 35b, ou un interstice pour le passage de fluide lorsque la pompe est en fonctionnement. Par l'action du moteur, on maintient un flux dans cet interstice de sorte que le sang ne puisse pas y stagner. On crée un passage 35a, 35b, depuis l'intérieur du carter jusque dans l'ouverture 35 via l'interstice.

- [0077] La figure 5 est une vue très schématique et simplifiée de la sortie de la pompe. On distingue des guides 34 qui sont des pales fixées à la paroi interne du carter 13. Il s'agit de quatre pales 34 disposées en croix et espacées les unes des autres dans la zone centrale de sorte que cette zone centrale constitue la niche et l'ouverture 35. L'ensemble des pales 34 constitue un redresseur disposé en sortie de la pompe de façon à augmenter la vitesse et donner au fluide un profil prédéterminé en sortie. Ce redresseur peut être précédé d'un diffuseur (« inducer » en anglais) de sortie non représenté sur la figure 4 et qui a pour fonction d'augmenter la pression du fluide de façon à évacuer le fluide depuis le rotor vers l'extérieur en transformant l'énergie cinétique créée par le rotor en énergie potentielle.
- [0078] Avec une telle réalisation, le fluide passe principalement en tant que flux 26 comme on le voit sur la figure 4, mais il passe également via l'ouverture 35.
- [0079] Pour une meilleure stabilité de la turbine, sur le mode de réalisation illustré sur la figure 6, on voit un pivot de sortie 33 dotée, dans son prolongement, d'une protubérance 36.
- [0080] Cette protubérance 36 pénètre l'ouverture 35 partiellement ou complètement jusqu'à dépasser l'extrémité du guide. Le flux sanguin est propulsé alors le long de la paroi externe du pivot de sortie et de sa protubérance à travers l'ouverture 35 via les espacements 35a et 35b.
- [0081] Avec la pompe selon l'invention, le pivot de sortie est contenu dans une niche à ouverture centrale. Cet arrangement permet d'éliminer toute zone de stagnation sanguine à l'origine d'éventuelles thromboses.
- [0082] Le procédé préférentiel de fonctionnement de la pompe est un fonctionnement du moteur en mode pulsé.
- [0083] Avec un tel fonctionnement, on prévoit des vitesses de 1500 à 7000 tours/mn.
- [0084] 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. Par exemple, les pivots peuvent être constitués l'un et ou l'autre d'un seul tenant avec la turbine ou l'arbre de transmission, mais ils peuvent également être l'un et/ou l'autre une pièce composée d'un matériau différent de celui de la turbine et de l'arbre de transmission, cette pièce serait fixée de manière permanente et serait en rotation avec la turbine et l'arbre de transmission. Ce matériau peut être du céramique

ou une matière plastique thermostable comme du PEEK (polyétheréthercétone).

[0085] La zone de pivot sur le stator et/ou la partie 37 du guide peuvent être constituées d'un matériau en titane.

Revendications

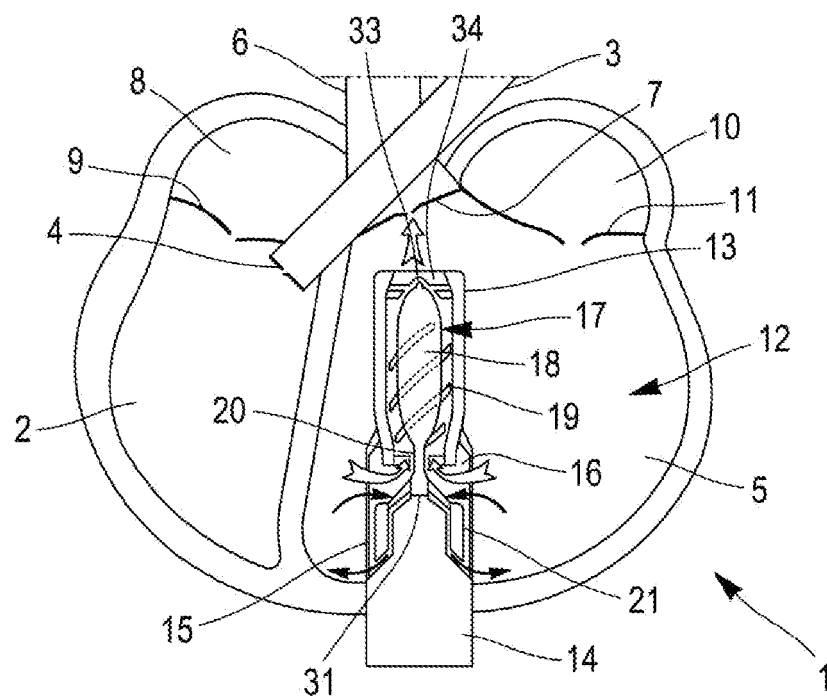
- [Revendication 1] Pompe destinée à être immergée dans un fluide, comprenant :
- un carter (13, 14) fixe doté d'une partie supérieure (13) formant chambre de propulsion de fluide vers l'extrémité supérieure, et une partie inférieure (14) formant stator et reliée de manière fixe à la partie supérieure,
 - au moins une ouverture latérale entre la partie supérieure et la partie inférieure, et formant une chambre d'admission (16) du fluide depuis l'extérieur vers la chambre de propulsion, caractérisée en ce que la pompe comprend en outre un bloc moteur formé par :
 - ledit stator (14) dans lequel sont disposés des premiers éléments magnétiques (22),
 - un rotor (21) sous la forme d'une cloche coiffant au moins partiellement la tête du stator et comprenant des seconds éléments magnétiques destinés au couplage magnétique avec les premiers éléments magnétiques du stator, la cloche ayant au moins une ouverture (27) sur sa partie supérieure de façon à créer un flux inverse (28) du fluide depuis la chambre d'admission (16) jusqu'à la base du stator via un passage (29) entre le rotor et le stator,
 - un arbre de transmission (20) comprenant au moins un bras de liaison (24) permettant de maintenir la cloche au-dessus du stator, l'axe de l'arbre de transmission étant superposé avec l'axe de rotation de la cloche.
 - des pales latérales disposées entre la cloche (21) et l'arbre de transmission (20) et destinées à guider le flux inverse dans ledit passage (29) entre le rotor et le stator.
- [Revendication 2] Pompe selon la revendication 1, caractérisée en ce que lesdites pales latérales sont orientées ou présentent une courbure.
- [Revendication 3] Pompe selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que les bras de liaison (24) constituent lesdites pales latérales.
- [Revendication 4] Pompe selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle est une pompe axiale.
- [Revendication 5] Pompe selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'il s'agit d'une pompe cardiaque intraventriculaire destinée à être fixée à l'apex d'un cœur, le passage (29) débouchant directement dans la zone (30) de rencontre entre la paroi interne du

- ventricule et la paroi externe du stator.
- [Revendication 6] Pompe selon la revendication 5, caractérisée en ce qu'elle présente des dimensions telles que la chambre d'admission se trouve à une distance de 1 à 3 cm de l'apex et l'orifice de sortie de la pompe se trouve à l'intérieur du ventricule à une distance de 1 à 3 cm en amont de la valve aortique.
- [Revendication 7] Pompe selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'en fonctionnement la cloche et l'arbre de transmission sont destinés à être en sustentation magnétique grâce aux éléments magnétiques, l'extrémité inférieure (31) de l'arbre de transmission et l'extrémité supérieure (32) du stator coopérant de façon à maintenir l'arbre de transmission dans son axe de révolution en phase de rotation.
- [Revendication 8] Pompe selon la revendication 7, caractérisée en ce que l'extrémité supérieure du stator comporte une zone de pivot concave apte à recevoir l'extrémité inférieure convexe, dite pivot d'entrée, de l'arbre de transmission.
- [Revendication 9] Pompe selon la revendication 7, caractérisée en ce que l'extrémité supérieure (32) du stator comporte une zone de pivot convexe apte à recevoir l'extrémité inférieure (31) concave, dite pivot d'entrée, de l'arbre de transmission.
- [Revendication 10] Pompe selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'arbre de transmission comporte une partie supérieure dotée de pales (19) permettant une aspiration de fluide principal depuis la chambre d'admission vers la sortie de la pompe.
- [Revendication 11] Pompe selon la revendication 10, caractérisée en ce qu'elle comprend :
- à l'entrée de la partie supérieure (13) du carter, un inducteur doté de pales de guidage (25) pour rendre l'écoulement du fluide linéaire en direction de la partie supérieure de l'arbre de transmission ;
 - la partie supérieure de l'arbre de transmission est un propulseur comprenant un corps central de forme évasée et destiné à créer de l'énergie cinétique;
 - au moins une pale hélicoïdale (19) réalisée autour dudit corps central (18); cette pale hélicoïdale ayant un profil extérieur évasé et comportant des spires à pas d'enroulement croissant et tendant vers l'infini ; le volume intérieur du carter étant complémentaire à la forme évasée de ladite au moins une pale hélicoïdale.
- [Revendication 12] Pompe selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisée en

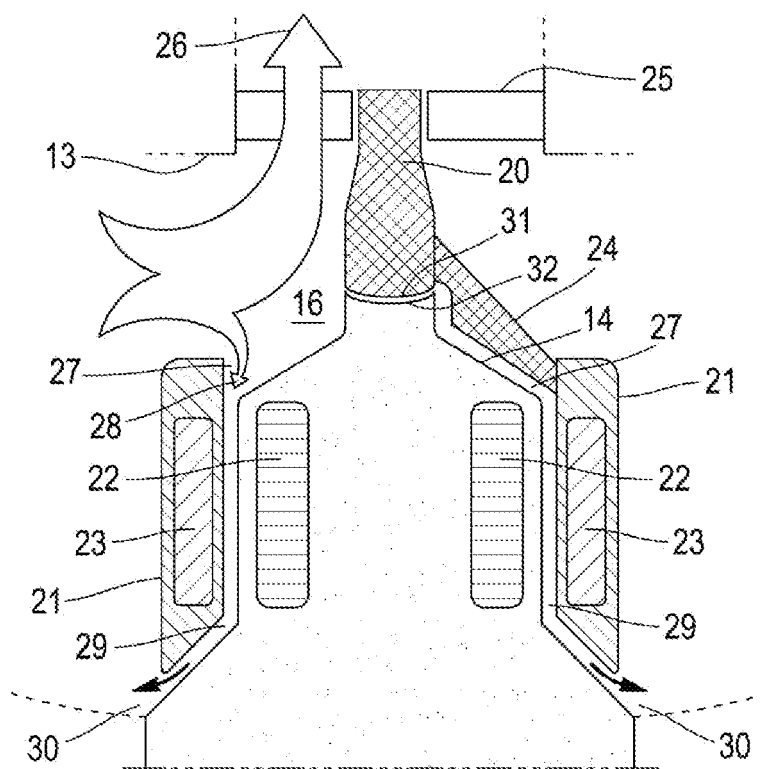
ce que la partie supérieure de l'arbre de transmission est un propulseur comprenant une tige dans l'axe centrale fixée à une turbine conçue pour effectuer des mouvements de rotation relativement au carter, cette turbine étant un cylindre creux d'axe de révolution confondu avec ladite tige et destiné au passage du flux principal de fluide, cette turbine comprenant au moins une pale interne disposée sur sa paroi interne et conçue pour faire circuler le fluide provenant de la chambre d'admission.

- [Revendication 13] Pompe selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la partie supérieure de l'arbre de transmission est un propulseur comprenant un corps (18) destiné à créer de l'énergie cinétique, ce corps comprenant à son sommet un pivot de sortie apte à coopérer avec un guide (37, 34) fixé au carter (13), ce guide présentant une forme complémentaire à celle du pivot de sortie de façon à maintenir ce pivot de sortie stable en rotation et à former un espacement (35a, 35b) entre le pivot de sortie et le guide, et en ce que ce guide comprend une ouverture centrale (35) dans l'axe de révolution du pivot de sortie pour un passage (35a, 35b) de fluide depuis l'intérieur du carter vers l'extérieur via l'espacement et l'ouverture.
- [Revendication 14] Pompe selon la revendication 13, caractérisée en ce que le pivot de sortie présente une forme convexe et le guide comprend une ouverture centrale (35) dans l'axe de révolution du pivot de sortie pour le passage de fluide depuis l'intérieur du carter vers l'extérieur.
- [Revendication 15] Pompe selon la revendication 14, caractérisée en ce que le pivot de sortie comporte une protubérance (36) pénétrant dans l'ouverture du guide.
- [Revendication 16] Pompe selon l'une quelconque des revendications 13 à 15, caractérisée en ce que le guide est constitué d'au moins une pale d'un redresseur et/ou d'un diffuseur.
- [Revendication 17] Pompe selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'il s'agit d'une pompe cardiaque intraventriculaire destinée à être fixée à l'apex d'un ventricule gauche ou d'un ventricule droit ou d'un ventricule systémique.

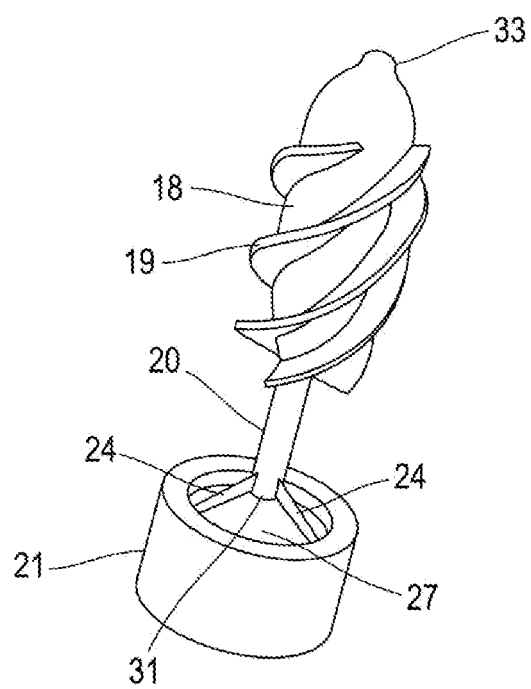
[Fig. 1]



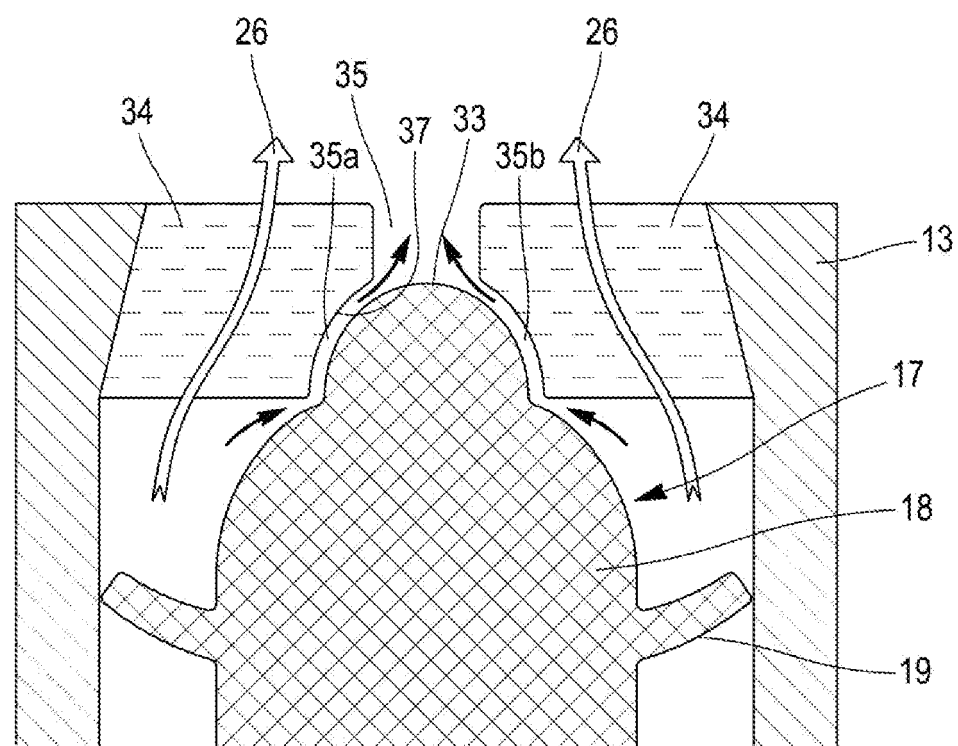
[Fig. 2]



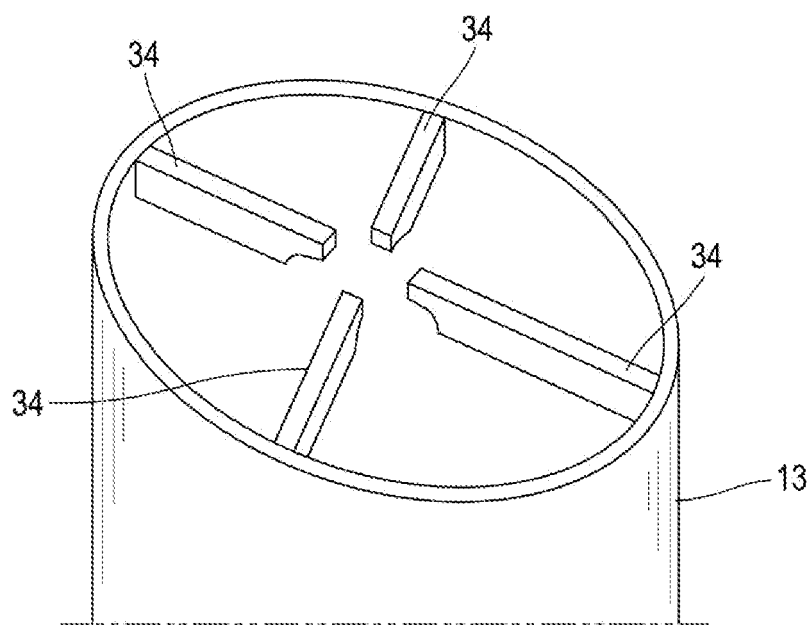
[Fig. 3]



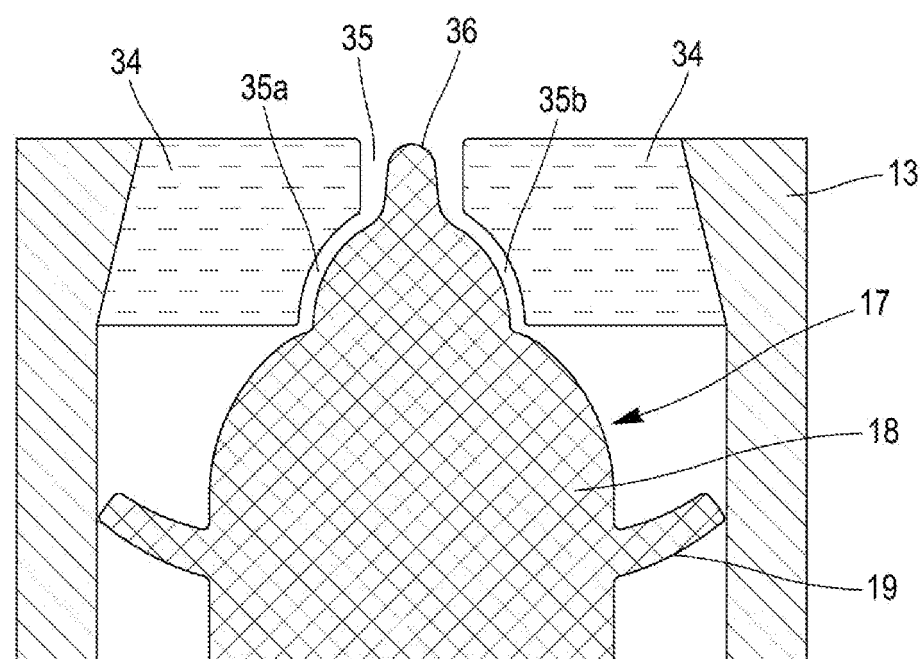
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

☒ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

NEANT

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**US 2018/311421 A1 (TUSETH VEGARD [NO] ET
AL) 1 novembre 2018 (2018-11-01)**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT