

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

①1 N° de publication : **3 137 726**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)  
②1 N° d'enregistrement national : **22 06931**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **F 04 D 19/04 (2022.01), F 04 D 29/38**

⑫

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑫② Date de dépôt : 07.07.22.

⑫③ Priorité :

⑫④ Date de mise à la disposition du public de la demande : 12.01.24 Bulletin 24/02.

⑫⑤ Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑫⑥ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : PFEIFFER VACUUM SASU — FR.

⑦② Inventeur(s) : VARENNES Nicolas.

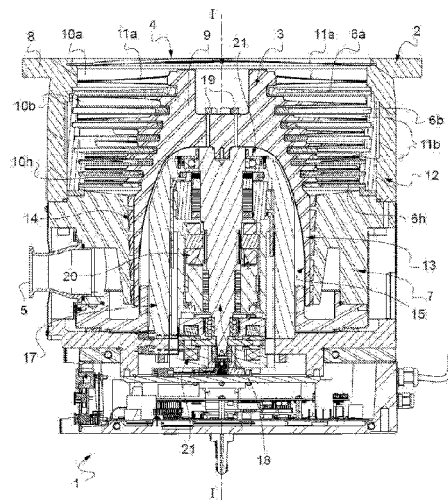
⑦③ Titulaire(s) : PFEIFFER VACUUM SASU.

⑦④ Mandataire(s) : INNOVINCIA.

⑤④ Pompe à vide turbomoléculaire et procédés de fabrication d'un rotor.

⑤⑦ Pompe à vide (1) turbomoléculaire comportant un stator (2) et un rotor (3) configuré pour tourner dans le stator (2), le rotor (3) comportant un moyeu (9) et au moins un étage de pales (10a-10h) comprenant des pales (11a, 11b) réparties régulièrement en périphérie du moyeu (9), caractérisée en ce que les pales (11a) d'au moins un étage de pales (10a) du rotor (3) sont creuses.

Figure 1



FR 3 137 726 - A1



## Description

### **Titre de l'invention : Pompe à vide turbomoléculaire et procédés de fabrication d'un rotor**

- [0001] La présente invention concerne une pompe à vide turbomoléculaire. La présente invention concerne également des procédés de fabrication d'un rotor d'une pompe à vide turbomoléculaire.
- [0002] La génération d'un vide poussé dans une enceinte nécessite l'utilisation de pompes à vide turbomoléculaires composées d'un stator dans lequel un rotor est entraîné en rotation rapide, par exemple une rotation à plus de trente mille tours par minute.
- [0003] Dans certaines applications de ces pompes à vide, notamment dans l'industrie de fabrication de semi-conducteurs, on cherche continuellement d'une part, à augmenter le débit de pompage, ce qui se traduit par des pompes de plus en plus volumineuses, et d'autre part, à augmenter les températures de fonctionnement des pompes à vide pour éviter la déposition de sous-produits de réaction dans les pompes et ainsi garantir des durées de vie convenables permettant d'augmenter la productivité des équipements de production.
- [0004] L'augmentation du volume des pompes à vide peut cependant poser un problème d'approvisionnement en matière première.
- [0005] Les pompes à vides volumineuses peuvent également présenter un encombrement trop important, rendant difficile leur intégration sous les chambres de procédés où se trouvent généralement déjà beaucoup d'accessoires nécessaires au fonctionnement des équipements.
- [0006] Certains procédés, notamment dans l'industrie de fabrication des semi-conducteurs, utilisent de nouvelles chimies de plus en plus complexes générant de plus en plus de sous-produits qui peuvent se déposer dans la pompe à vide si celle-ci n'est pas suffisamment chauffée. Les températures de pompes à vide turbomoléculaires contrôlées à 50°C à 60°C il y a quelques dizaines d'années, nécessitent aujourd'hui d'être contrôlées autour de 150°C.
- [0007] Les rotors des pompes à vide turbomoléculaires actuelles sont généralement réalisées dans un alliage d'aluminium haute performance leur permettant de résister au mieux au fluage jusqu'à présent. Cette solution permet d'obtenir un bon compromis entre les performances de vide obtenues en termes de vitesse de rotation de la pompe et d'inertie cinétique stockée dans la pompe. En effet, en cas d'avarie du rotor, toute l'énergie cinétique de rotation du rotor peut être contenue à l'intérieur du carter de la pompe à vide afin d'assurer la sécurité des personnes et des biens. Il n'est toutefois pas possible de dépasser une certaine température de chauffage de la pompe à vide turbomo-

léculaire sous contrainte, notamment 150°C, sans risque de fluage du rotor. Il est par ailleurs difficile de refroidir le rotor, celui-ci étant généralement sur paliers magnétiques et donc sans contact avec le stator.

- [0008] Un des buts de la présente invention est de proposer une pompe à vide turbomoléculaire résolvant au moins partiellement un inconvénient de l'état de la technique, permettant notamment de réduire l'énergie cinétique stockée dans la pompe à vide. Un autre objectif de la présente invention est d'augmenter le débit de pompage et/ou la température de fonctionnement de la pompe à vide turbomoléculaire sans augmenter le volume de la pompe à vide.
- [0009] A cet effet, l'invention a pour objet une pompe à vide turbomoléculaire comportant un stator et un rotor configuré pour tourner dans le stator, le rotor comportant un moyeu et au moins un étage de pales comprenant des pales réparties régulièrement en périphérie du moyeu, caractérisée en ce que les pales d'au moins un étage de pales du rotor sont creuses.
- [0010] Pour le pompage des gaz, seules les surfaces externes du rotor sont nécessaires de sorte qu'un rotor en partie creux n'affecte pas les performances de pompage. En revanche, des pales creuses permettent d'alléger le poids du rotor, ce qui permet de réduire l'énergie cinétique stockée dans la pompe à vide de sorte que le rotor puisse être contenu dans le carter de la pompe à vide en cas d'explosion. Il est alors possible de réaliser le rotor au moins partiellement dans un alliage présentant une densité supérieure à celle des alliages d'aluminium, résistant mieux au fluage.
- [0011] La pompe à vide peut en outre comporter une ou plusieurs des caractéristiques qui sont décrites ci-après, prises seules ou en combinaison.
- [0012] Le rotor comporte par exemple plus de quatre étages de pales, le premier étage de pales, situé du côté d'un orifice d'aspiration de la pompe à vide, présentant des pales creuses.
- [0013] L'épaisseur de la peau des pales creuses est par exemple inférieure ou égale à 3mm et/ou supérieure ou égale à 0,2mm.
- [0014] Le diamètre du rotor est par exemple supérieur ou égal à 160mm et/ou inférieur ou égal à 450mm.
- [0015] Le rotor peut présenter une jupe cylindrique en aval du au moins un étage de pales, la jupe cylindrique étant creuse.
- [0016] La jupe cylindrique creuse peut présenter des éléments de renforts internes, reliant les parois en regard de la cavité de la jupe cylindrique.
- [0017] Le moyeu peut également être creux.
- [0018] Le rotor peut être réalisé au moins partiellement dans un alliage présentant une densité supérieure à celle des alliages d'aluminium, c'est-à-dire supérieure à 2,7g/cm<sup>3</sup>.
- [0019] Le rotor est par exemple réalisé au moins partiellement en acier inoxydable ou en

alliage de titane ou en alliage à base de nickel.

- [0020] Ces alliages présentent une densité supérieure à celle des alliages d'aluminium. Ils sont de l'ordre de deux à trois fois plus lourds. Leur haute densité leur permet de présenter une excellente résistance mécanique et une meilleure résistance au fluage à haute température que l'alliage aluminium. Ils présentent également une bonne résistance à la corrosion et à l'oxydation.
- [0021] Ces matériaux permettent par exemple de pouvoir chauffer davantage la pompe à vide turbomoléculaire sans risques de fluage. Ces matériaux permettent aussi d'augmenter le débit de gaz de la pompe à vide turbomoléculaire sans risques de fluage du rotor. Ces matériaux peuvent également permettre de faire tourner le rotor plus vite que celui d'une pompe à vide de l'art antérieur de même encombrement pour augmenter le débit de pompage sans risques de fluage du rotor. L'utilisation de ces matériaux peut également permettre de réduire l'encombrement de la pompe à vide avec une vitesse de rotation plus élevée du rotor et donc les mêmes performances de pompage sans risques de fluage du rotor.
- [0022] Ces alliages sont plus coûteux et plus lourds que des alliages aluminium mais un rotor ayant au moins un étage de pales à pales creuses permet de réduire le poids du rotor, ce qui permet de réduire l'énergie cinétique en cas d'explosion du rotor, et permet de réduire la matière première employée, de façon à pouvoir mieux maîtriser les coûts de matière première et les problèmes éventuels d'approvisionnement.
- [0023] Le au moins un étage de pales du rotor à pales creuses peut être réalisé par fabrication additive métallique. Les aciers inoxydables, les alliages de titane et les alliages à base de nickel sont particulièrement adaptés pour permettre une fabrication additive métallique, notamment par procédé de fusion par laser.
- [0024] Les extrémités radiales des pales creuses réalisées par fabrication additive métallique sont par exemple ouvertes.
- [0025] La jupe cylindrique creuse peut également être réalisée par fabrication additive métallique. L'extrémité annulaire de la jupe réalisée par fabrication additive métallique est par exemple ouverte.
- [0026] Le rotor peut être réalisé d'une seule pièce.
- [0027] Le rotor peut être réalisé par frettage sur le moyeu d'au moins un étage de pales à pales creuses réalisé par fabrication additive métallique.
- [0028] Le rotor peut être réalisé par fabrication additive métallique d'au moins un étage de pales à pales creuses sur le moyeu.
- [0029] La présente invention a aussi pour objet un procédé de fabrication d'un rotor d'une pompe à vide turbomoléculaire telle que décrite précédemment, dans lequel on réalise entièrement le rotor par fabrication additive métallique.
- [0030] La présente invention a aussi pour objet un procédé de fabrication d'un rotor d'une

pompe à vide turbomoléculaire telle que décrite précédemment, dans lequel on réalise au moins un étage de pales à pales creuses par fabrication additive métallique que l'on frette sur le moyeu.

[0031] On peut aussi réaliser la jupe cylindrique creuse par fabrication additive métallique que l'on frette sur le moyeu.

[0032] La présente invention a aussi pour objet un procédé de fabrication d'un rotor d'une pompe à vide turbomoléculaire telle que décrite précédemment, dans lequel on construit le au moins un étage de pales à pales creuses par fabrication additive métallique sur le moyeu.

[0033] On peut aussi construire la jupe cylindrique creuse par fabrication additive métallique sur le moyeu.

### **Présentation des dessins**

[0034] D'autres avantages et caractéristiques apparaîtront à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation particulier de l'invention, mais nullement limitatif, ainsi que des dessins annexés sur lesquels :

[0035] [Fig.1] La [Fig.1] montre une vue en coupe axiale d'une pompe à vide turbomoléculaire selon un premier exemple de réalisation.

[0036] [Fig.2A] La [Fig.2A] montre une vue en perspective du rotor de la pompe à vide de la [Fig.1].

[0037] [Fig.2B] La [Fig.2B] montre une vue d'un détail du rotor de la [Fig.2A].

[0038] [Fig.3] La [Fig.3] montre une vue en coupe du rotor de la [Fig.2A].

[0039] [Fig.4] La [Fig.4] montre une vue en coupe d'un rotor de pompe à vide turbomoléculaire selon un deuxième exemple de réalisation.

[0040] [Fig.5] La [Fig.5] montre une vue en coupe d'un rotor de pompe à vide turbomoléculaire selon un troisième exemple de réalisation.

[0041] [Fig.6] La [Fig.6] montre une vue en coupe d'un rotor de pompe à vide turbomoléculaire selon un quatrième exemple de réalisation.

[0042] [Fig.7] La [Fig.7] montre une vue en coupe d'un rotor de pompe à vide turbomoléculaire selon un cinquième exemple de réalisation.

[0043] Sur ces figures, les éléments identiques portent les mêmes numéros de référence.

[0044] Les réalisations suivantes sont des exemples. Bien que la description se réfère à un ou plusieurs modes de réalisation, ceci ne signifie pas nécessairement que chaque référence concerne le même mode de réalisation, ou que les caractéristiques s'appliquent seulement à un seul mode de réalisation. De simples caractéristiques de différents modes de réalisation peuvent également être combinées ou interchangées pour fournir d'autres réalisations.

[0045] On entend par « en amont », un élément qui est placé avant un autre par rapport au

sens de circulation des gaz pompés. A contrario, on entend par « en aval », un élément placé après un autre par rapport au sens de circulation des gaz pompés.

- [0046] On définit par axiale la direction parallèle à l'axe de rotation I-I du rotor de la pompe à vide et par radial, les directions perpendiculaires à la direction axiale.
- [0047] La [Fig.1] illustre un premier exemple de réalisation d'une pompe à vide 1 turbomoléculaire.
- [0048] La pompe à vide 1 turbomoléculaire comporte un stator 2 dans lequel un rotor 3 est configuré pour tourner à grande vitesse en rotation axiale, par exemple une rotation à plus de vingt mille tours par minute.
- [0049] Les gaz pompés entrent par un orifice d'aspiration 4 et sont évacués par un orifice de refoulement 5 de la pompe à vide 1 turbomoléculaire. En fonctionnement, l'orifice de refoulement 5 est raccordé à un pompage primaire.
- [0050] Le stator 2 comporte notamment un carter 12 par exemple en plusieurs parties assemblées, au moins deux étages stators annulaires 6a-6h fixés au carter 12 et ici une douille haute pression 7 fixée au carter 12 et dans laquelle est ménagé l'orifice de refoulement 5 de la pompe à vide 1.
- [0051] Le stator 2 comporte une bride annulaire d'entrée 8 entourant l'orifice d'aspiration 4 pour raccorder la pompe à vide 1 à une enceinte dont on souhaite abaisser la pression.
- [0052] Comme mieux visible sur les figures 2A et 3, le rotor 3 comporte un moyeu 9 et au moins un étage de pales 10a-10h. Chaque étage de pales 10a-10h comprend des pales 11a, 11b qui partent en direction sensiblement radiale du moyeu 9, de manière inclinée et qui sont réparties régulièrement en périphérie du moyeu 9. Chaque étage de pales 10a-10h comporte respectivement par exemple entre vingt et trente pales 11a, 11b, ici vingt-deux.
- [0053] Le rotor 3 comporte par exemple plus de quatre étages de pales 10a-10h, comme par exemple entre quatre et douze étages de pales 10a-10h (huit dans l'exemple illustré sur les figures). Le premier étage de pales 10a est celui situé du côté de l'orifice d'aspiration 4 de la pompe à vide 1 turbomoléculaire.
- [0054] Les étages stators annulaires 6a-6h du stator 2 sont respectivement agencés entre les étages de pales 10a-10h successifs du rotor 3. Les étages stators annulaires 6a-6h et les étages de pales 10a-10h se succèdent axialement le long de l'axe de rotation I-I du rotor 3 ([Fig.1]).
- [0055] Le rotor 3 peut comporter une jupe cylindrique 13, dite jupe Holweck, en aval des au moins deux étages de pales 10a-10h, formée par un cylindre lisse, qui tourne en regard de rainures hélicoïdales 14 du stator 2. Les rainures hélicoïdales 14 du stator 2 permettent de comprimer et guider les gaz pompés vers l'orifice de refoulement 5.
- [0056] Le rotor 3 comporte en outre un bol interne 15 sous la jupe cylindrique 13, coaxial à l'axe de rotation I-I, agencé en vis-à-vis d'une cloche 17 du stator 2, saillant sous le

rotor 3. En fonctionnement, le rotor 3 tourne dans le stator 2 sans contact entre le bol interne 15 et la cloche 17.

- [0057] Le rotor 3 est fixé à un arbre d'entraînement 18 de la pompe à vide 1, par exemple au moyen de vis 19 traversant le moyeu 9 du rotor 3. Le rotor 3 est entraîné en rotation dans le stator 2 par un moteur 20 interne de la pompe à vide 1. Le moteur 20 est par exemple agencé dans la cloche 17 du stator 2, elle-même agencée sous le bol interne 15 du rotor 3, l'arbre d'entraînement 18 traversant la cloche 17 du stator 2.
- [0058] Le rotor 3 est guidé latéralement et axialement par des paliers 21 magnétiques et/ou mécaniques supportant l'arbre d'entraînement 18 du rotor 3, situés dans le stator 2. Il y a par exemple des premiers paliers 21 supportant et guidant une première extrémité de l'arbre d'entraînement 18 dans une embase de la cloche 17 du stator 2 et des seconds paliers 21 supportant et guidant une deuxième extrémité de l'arbre d'entraînement 18 agencés au sommet de la cloche 17.
- [0059] D'autres composants électriques ou électroniques peuvent être reçus dans la cloche 17 du stator 2, comme par exemple des capteurs de position.
- [0060] La pompe à vide 1 peut comporter un dispositif de chauffage configuré pour chauffer le stator 2. Le dispositif de chauffage peut comporter une ceinture résistive externe chauffante configurée pour chauffer le carter 12 de la pompe à vide 1 ou des éléments radiatifs agencés dans le chemin d'écoulement des gaz de la pompe à vide 1, par exemple configurés pour chauffer la douille haute pression 7 du stator 2 dans laquelle sont ménagées les rainures hélicoïdales 14.
- [0061] Comme on peut le voir sur la vue en coupe de la [Fig.3], les pales 11a d'au moins un étage de pales 10a du rotor 3 sont creuses.
- [0062] Les cavités des pales 11a creuses s'étendent par exemple à l'intérieur de toutes les pales 11a respectives. Toutes les pales 11a de l'étage de pales 10a concerné sont creuses. L'épaisseur  $e$  de la peau des pales 11a creuses ([Fig.2B]) est par exemple inférieure ou égale à 3mm (épaisseur maximum sur toute la longueur de la cavité de la pale 11a) et/ou supérieure ou égale à 0,2mm (épaisseur minimale sur toute la longueur de la cavité de la pale 11a).
- [0063] Pour le pompage des gaz, seules les surfaces externes du rotor 3 sont nécessaires de sorte qu'un rotor 3 en partie creux n'affecte pas les performances de pompage. En revanche, des pales 11a creuses permettent d'alléger le poids du rotor 3, ce qui permet de réduire l'énergie cinétique stockée dans la pompe à vide 1 de sorte que le rotor 3 puisse être contenu dans le carter 12 de la pompe à vide 1 en cas d'explosion.
- [0064] Dans le premier exemple de réalisation représenté sur les figures 1 à 3, seules les pales 11a d'un étage de pales 10a du rotor 3 sont creuses et en particulier, seul le premier étage de pales 10a, situé du côté de l'orifice d'aspiration 4, présente des pales 11a creuses. Il s'agit de l'étage de pales 10a du rotor 3 présentant les pales 11a les plus

volumineuses et donc pour lesquelles le bénéfice en gain de poids et de matière présente le plus d'impact. Les pales 11b des autres étages de pales 10b-10h sont pleines.

- [0065] L'étage de pales présentant les pales 11a creuses peut cependant être un autre étage du rotor 3.
- [0066] Par ailleurs, le rotor 3 peut être réalisé au moins partiellement dans un alliage présentant une densité supérieure à celle des alliages d'aluminium, c'est-à-dire supérieure à  $2,7\text{g/cm}^3$ .
- [0067] Le rotor 3 est par exemple réalisé au moins partiellement en acier inoxydable ou en alliage de titane ou en alliage à base de nickel, aussi appelé superalliage, comme l'Inconel<sup>®</sup> tel que l'Inconel<sup>®</sup> 600 (NiCr15Fe), l'Inconel<sup>®</sup> 625 (NiCr22Mo9Nb) ou l'Inconel<sup>®</sup> 718 (NiCr19Fe19Nb5Mo3). Les métaux d'alliage secondaires de l'Inconel<sup>®</sup> sont principalement le niobium, le manganèse et le molybdène.
- [0068] Ces alliages présentent une densité supérieure à celle des alliages d'aluminium. Ils sont de l'ordre de deux à trois fois plus lourds. Leur haute densité leur permet de présenter une excellente résistance mécanique et une meilleure résistance au fluage à haute température que l'alliage aluminium. Ils présentent également une bonne résistance à la corrosion et à l'oxydation.
- [0069] Ces matériaux permettent par exemple de pouvoir chauffer davantage la pompe à vide 1 turbomoléculaire sans risques de fluage. Par exemple, le dispositif de chauffage peut être configuré pour chauffer le stator 2 à une température supérieure ou égale à  $150^\circ\text{C}$ , telle que  $200^\circ\text{C}$ , ce qui permet d'éviter la formation de dépôts de produits de réaction dans la pompe à vide 1, notamment dans les applications de fabrication de semi-conducteurs.
- [0070] Ces matériaux permettent aussi d'augmenter le débit de gaz de la pompe à vide 1 turbomoléculaire sans risques de fluage du rotor 3.
- [0071] Ces matériaux peuvent également permettre de faire tourner le rotor 3 plus vite que celui d'une pompe à vide 1 de l'art antérieur de même encombrement pour augmenter le débit de pompage sans risques de fluage du rotor 3. La vitesse de rotation du rotor 3 est par exemple supérieure ou égale à 20000 tour/min. Le diamètre D du rotor 3, dans lequel s'inscrivent les extrémités radiales des pales 11a, 11b, est par exemple supérieur ou égal à 160mm et/ou inférieur ou égal à 450mm ([Fig.3]).
- [0072] L'utilisation de ces matériaux peut également permettre de réduire l'encombrement de la pompe à vide 1 avec une vitesse de rotation plus élevée du rotor 3 et donc les mêmes performances de pompage sans risques de fluage du rotor 3.
- [0073] Ces alliages sont plus couteux et plus lourds que des alliages aluminium mais un rotor 3 ayant au moins un étage de pales 10a à pales 11a creuses permet de réduire le poids du rotor 3, ce qui permet de réduire l'énergie cinétique en cas d'explosion du

rotor 3, et permet de réduire la matière première employée, de façon à pouvoir mieux maîtriser les coûts de matière première et les problèmes éventuels d'approvisionnement.

- [0074] Le rotor 3 est par exemple réalisé d'une seule pièce (monobloc).
- [0075] Tout ou partie du rotor 3 peut être réalisé par fabrication additive métallique à partir du métal constitutif, tel que l'acier inoxydable, l'alliage de titane ou l'alliage de nickel, par exemple par procédé de fusion par laser ou de fusion par faisceau d'électrons.
- [0076] Dans le procédé de fusion par laser, tel que le procédé dit « DED » (pour « Direct Energie Deposition » en anglais ou « Dépôt sous énergie concentrée »), également appelé DMD (« Direct Metal Deposition » en anglais), le métal constitutif sous forme de poudre métallique est déposé puis fondu par faisceau laser et fusionné avec la couche précédente.
- [0077] Dans le procédé par fusion par faisceau d'électrons, tel que le procédé dit EBAM (pour « Electron Beam Additive Manufacturing » en anglais), un faisceau d'électrons fait fondre le métal constitutif sous forme de fils épais pour réaliser une impression 3D.
- [0078] Les aciers inoxydables, les alliages de titane et les alliages à base de nickel sont particulièrement adaptés pour permettre une fabrication additive métallique, notamment par procédé de fusion par laser.
- [0079] Au moins un étage de pales 10a du rotor 3 à pales 11a creuses est par exemple réalisé par fabrication additive métallique.
- [0080] Dans le premier exemple de réalisation où le rotor 3 est réalisé d'une seule pièce, on peut réaliser entièrement le rotor 3 par fabrication additive métallique.
- [0081] Les extrémités radiales des pales 11a creuses réalisées par fabrication additive métallique, ici celles du premier étage de pales 10a, peuvent être ouvertes, ce qui est plus simple à réaliser ([Fig.2B]).
- [0082] Le rotor 3 peut également être revêtu après fabrication, notamment pour mieux résister à la corrosion. Il comporte par exemple un revêtement nickelé.
- [0083] Bien que dans le premier exemple de réalisation, un seul étage de pales 10a présente des pales 11a creuses, la pompe à vide 1 turbomoléculaire peut comporter plusieurs étages de pales présentant des pales creuses.
- [0084] Par exemple, la pompe à vide 1 turbomoléculaire comporte deux étages de pales ayant des pales creuses. Ces étages ne sont pas forcément consécutifs dans le chemin de pompage des gaz. Ainsi par exemple et comme représenté sur la [Fig.4], le premier étage de pales 10a situé du côté de l'orifice d'aspiration 4 et le sixième étage de pales 10f présentent des pales 11a creuses.
- [0085] La pompe à vide 1 turbomoléculaire peut aussi comporter plus de deux étages de pales ayant des pales creuses. Ainsi par exemple et comme représenté sur la [Fig.5], le premier, le troisième et le sixième étages de pales 10a, 10c, 10f présentent des pales

11a creuses.

- [0086] Également, toutes les pales 11a de tous les étages de pales 10a-10h du rotor 3 peuvent également être creuses ([Fig.7]).
- [0087] Les extrémités des pales 11a des étages de pales réalisées par fabrication additive métallique, le premier et le sixième étages de pales 10a, 10f sur la [Fig.4] ou le premier, troisième et le sixième étages de pales 10a, 10c, 10f sur la [Fig.5], ou tous les étages de pales 10a-10h sur la [Fig.7], peuvent être ouvertes.
- [0088] La [Fig.6] montre un autre exemple de réalisation.
- [0089] Dans cet exemple, le rotor 3 est réalisé par assemblage de plusieurs pièces, d'une part, du moyeu 9 réalisé ici d'une seule pièce avec la jupe cylindrique 13 et les étages de pales à pales 11b pleines, ici le deuxième, et le quatrième, le cinquième, le septième et le huitième étages 10b, 10d, 10e, 10g et 10h et d'autre part, d'au moins un étage de pales à pales 11a creuses, ici le premier, le troisième et le sixième 10a, 10c, 10f.
- [0090] Les matériaux des différentes pièces peuvent être les mêmes ou ils peuvent être différents.
- [0091] Au cours de la fabrication du rotor 3, le moyeu 9, et ici la jupe cylindrique 13 et les étages de pales 10b, 10d, 10e, 10g et 10h à pales 11b pleines, peuvent être fabriqués de manière conventionnelle, par exemple par tournage.
- [0092] Selon une première variante de l'assemblage de plusieurs pièces, le rotor 3 est réalisé par frettage sur le moyeu 9 d'au moins un étage de pales à pales 11a creuses, ici le premier, le troisième et le sixième 10a, 10c, 10f, ces étages de pales 10a, 10c, 10f étant réalisés par fabrication additive métallique.
- [0093] Selon une deuxième variante de l'assemblage de plusieurs pièces, le rotor 3 est réalisé par fabrication additive métallique d'au moins un étage de pales à pales 11a creuses sur le moyeu 9. Autrement dit, on ajoute le au moins un étage de pales à pales 11a creuses, ici le premier, le troisième et le sixième étages de pales 10a, 10c, 10f, par fabrication additive métallique sur le moyeu 9.
- [0094] Dans les deux variantes, les extrémités des pales 11a creuses réalisées par fabrication additive métallique, ici celles du premier, du troisième et du sixième étage de pales 10a, 10c, 10f, peuvent être ouvertes.
- [0095] Les autres caractéristiques des exemples de réalisation des figures 4 à 6 sont similaires au premier exemple de réalisation décrit.
- [0096] Dans l'exemple de réalisation illustré sur la [Fig.7], tous les étages de pales 10a-10h présentent des pales 11a creuses.
- [0097] Également dans cet exemple de réalisation, la jupe cylindrique 13 est creuse.
- [0098] La jupe cylindrique 13 creuse peut présenter des éléments de renforts 22 internes, reliant les parois en regard de la cavité de la jupe cylindrique 13, afin de renforcer sa tenue mécanique.

- [0099] Également dans cet exemple de réalisation, le moyeu 9 est creux.
- [0100] D'autres configurations sont possibles, par exemple que certains étages à pales présentent des pales 11b pleines ou que la jupe cylindrique 13 ou le moyeu 9 soient pleins.
- [0101] Au cours de la fabrication du rotor 3, le moyeu 9 peut être fabriqué de manière conventionnelle ou par fabrication additive.
- [0102] Le rotor 3 peut être réalisé par frettage sur le moyeu 9 d'au moins un étage de pales à pales 11a creuses réalisé par fabrication additive métallique, ici tous les étages de pales 10a-10h et/ou par frettage sur le moyeu 9 de la jupe cylindrique 13 creuse.
- [0103] Le rotor 3 peut également être réalisé par fabrication additive métallique d'au moins un étage de pales 10a-10h à pales 11a creuses, ici tous les étages de pales 10a-10h, et/ou de la jupe cylindrique 13 creuse, sur le moyeu 9. Autrement dit, on ajoute le au moins un étage de pales 10a-10h à pales 11a creuses et/ou la jupe cylindrique 13 par fabrication additive métallique sur le moyeu 9.
- [0104] Il est également possible de fretter au moins un étage de pales 10a-10h, à pales 11a creuses réalisé par fabrication additive métallique, sur le moyeu 9 et d'ajouter la jupe creuse sur le moyeu 9 par fabrication additive métallique sur le moyeu 9.
- [0105] Dans toutes les variantes, les extrémités des pales 11a creuses et de la jupe cylindrique 13 réalisées par fabrication additive métallique peuvent être ouvertes.

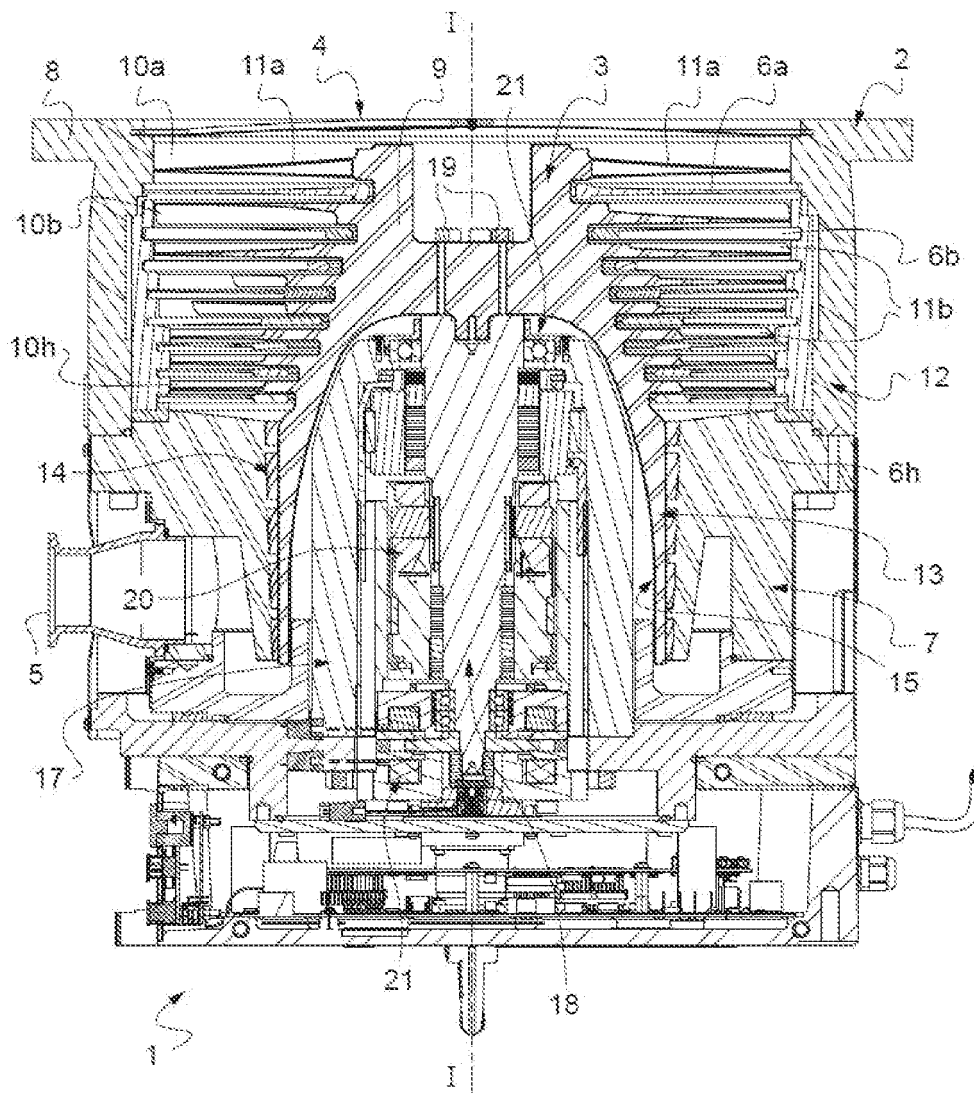
## Revendications

- [Revendication 1] Pompe à vide (1) turbomoléculaire comportant un stator (2) et un rotor (3) configuré pour tourner dans le stator (2), le rotor (3) comportant un moyeu (9) et au moins un étage de pales (10a-10h) comprenant des pales (11a, 11b) réparties régulièrement en périphérie du moyeu (9), caractérisée en ce que les pales (11a) d'au moins un étage de pales (10a) du rotor (3) sont creuses.
- [Revendication 2] Pompe à vide (1) turbomoléculaire selon la revendication 1, caractérisée en ce que le rotor (3) comporte plus de quatre étages de pales (10a-10h), le premier étage de pales (10a), situé du côté d'un orifice d'aspiration (4) de la pompe à vide (1), présentant des pales (11a) creuses.
- [Revendication 3] Pompe à vide (1) turbomoléculaire selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'épaisseur (e) de la peau des pales (11a) creuses est inférieure ou égale à 3mm et/ou supérieure ou égale à 0,2mm.
- [Revendication 4] Pompe à vide (1) turbomoléculaire selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que le diamètre (D) du rotor (3) est supérieur ou égal à 160mm et/ou inférieur ou égal à 450mm.
- [Revendication 5] Pompe à vide (1) turbomoléculaire selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que le rotor (3) présente une jupe cylindrique (13) en aval du au moins un étage de pales (10a), la jupe cylindrique (13) étant creuse.
- [Revendication 6] Pompe à vide (1) turbomoléculaire selon la revendication précédente, caractérisée en ce que la jupe cylindrique (13) creuse présente des éléments de renforts (22) internes, reliant les parois en regard de la cavité de la jupe cylindrique (13).
- [Revendication 7] Pompe à vide (1) turbomoléculaire selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que le moyeu (9) est également creux.
- [Revendication 8] Pompe à vide (1) turbomoléculaire selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que le rotor (3) est réalisé au moins partiellement en acier inoxydable ou en alliage de titane ou en alliage à base de nickel.
- [Revendication 9] Pompe à vide (1) turbomoléculaire selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que le au moins un étage de pales (10a) du rotor (3) à pales (11a) creuses est réalisé par fabrication additive métallique.
- [Revendication 10] Pompe à vide (1) turbomoléculaire selon la revendication précédente,

- caractérisée en ce que les extrémités radiales des pales (11a) creuses réalisées par fabrication additive métallique sont ouvertes.
- [Revendication 11] Pompe à vide (1) turbomoléculaire selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que le rotor (3) est réalisé d'une seule pièce.
- [Revendication 12] Pompe à vide (1) turbomoléculaire selon l'une des revendications 9 ou 10, caractérisée en ce que le rotor (3) est réalisé par frettage sur le moyeu (9) d'au moins un étage de pales (10a) à pales (11a) creuses réalisé par fabrication additive métallique.
- [Revendication 13] Pompe à vide (1) turbomoléculaire selon l'une des revendications 9 ou 10, caractérisée en ce que le rotor (3) est réalisé par fabrication additive métallique d'au moins un étage de pales (10a) à pales (11a) creuses sur le moyeu (9).
- [Revendication 14] Procédé de fabrication d'un rotor (3) d'une pompe à vide (1) turbomoléculaire selon la revendication 11, dans lequel on réalise le entièrement le rotor (3) par fabrication additive métallique.
- [Revendication 15] Procédé de fabrication d'un rotor d'une pompe à vide (1) turbomoléculaire selon la revendication 12, dans lequel on réalise au moins un étage de pales (10a) à pales (11a) creuses par fabrication additive métallique que l'on frette sur le moyeu (9).
- [Revendication 16] Procédé de fabrication d'un rotor (3) d'une pompe à vide (1) turbomoléculaire selon la revendication 13, dans lequel on construit le au moins un étage de pales (10a) à pales (11a) creuses par fabrication additive métallique sur le moyeu (9).

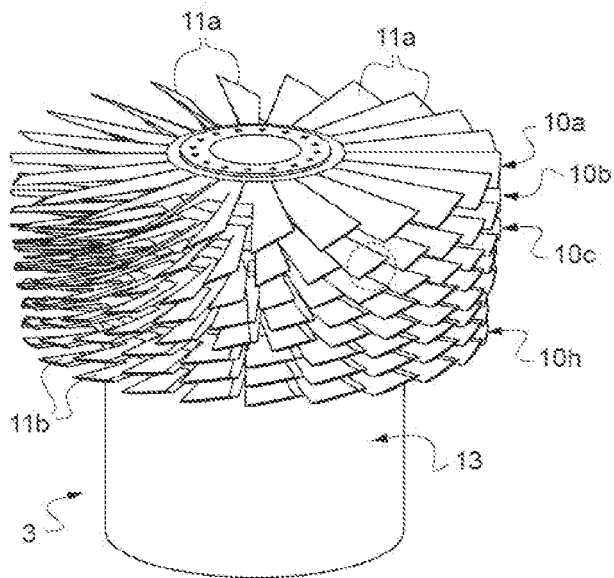
[Fig. 1]

Fig. 1



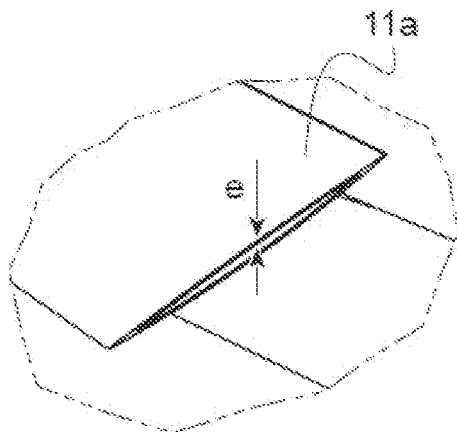
[Fig. 2A]

Fig.2A



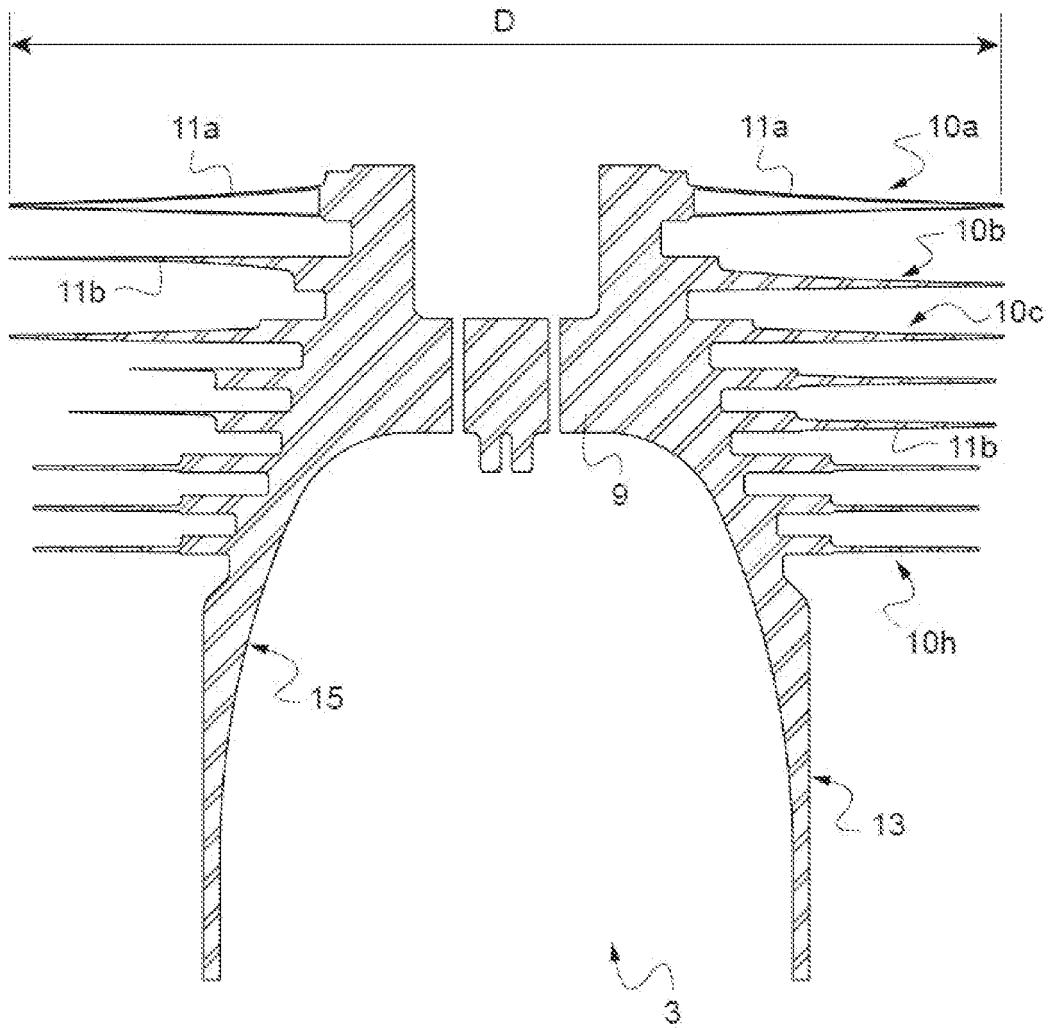
[Fig. 2B]

Fig.2B



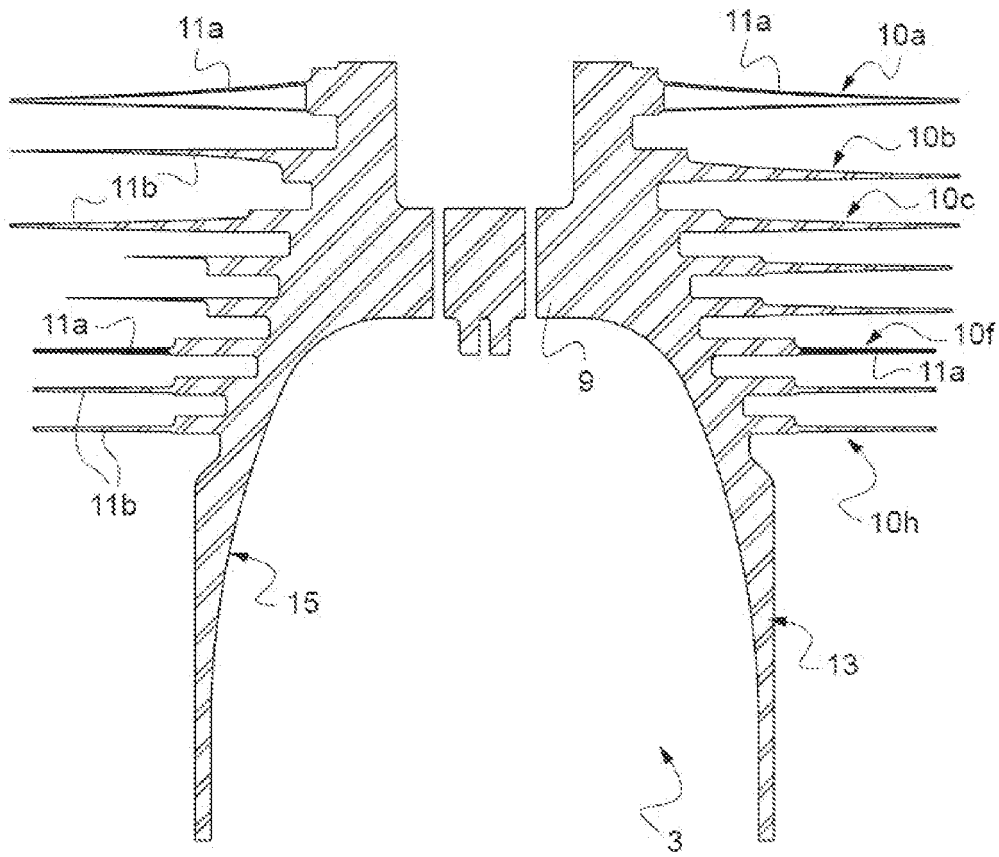
[Fig. 3]

Fig.3



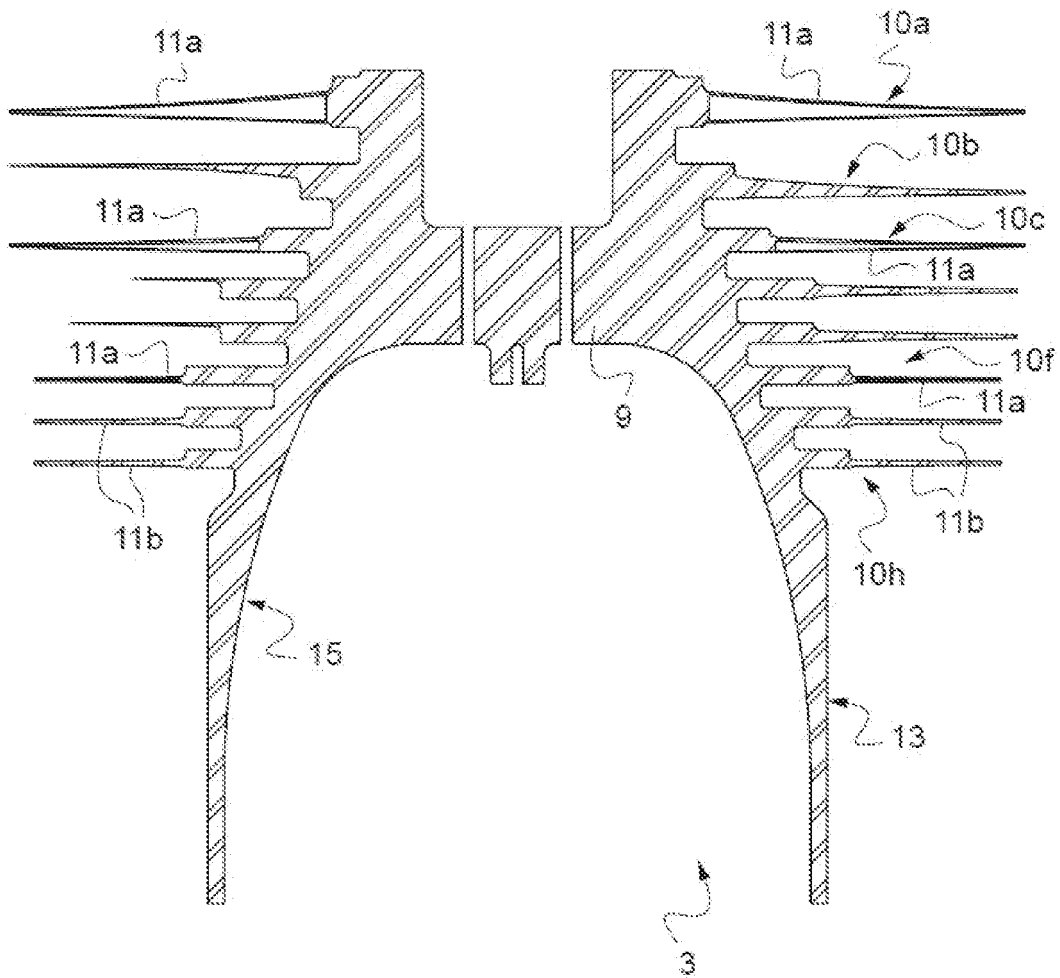
[Fig. 4]

Fig.4



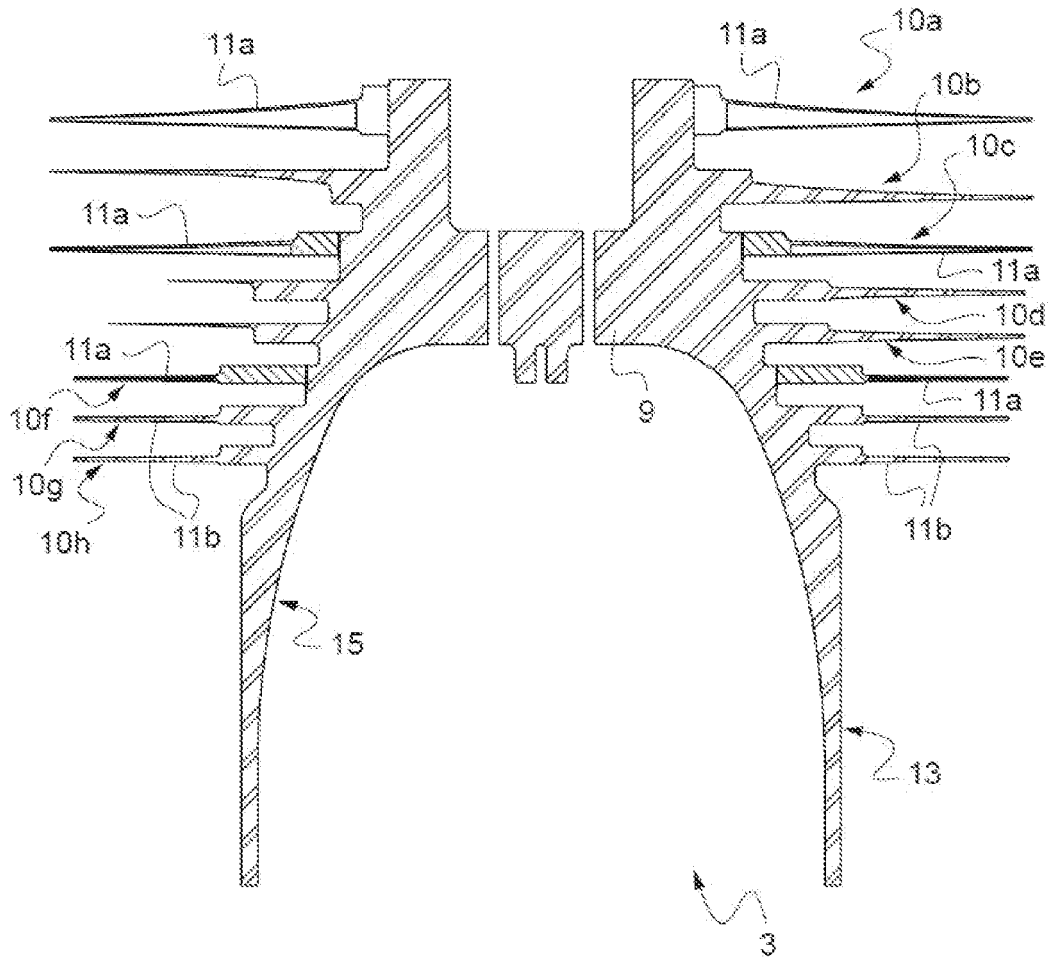
[Fig. 5]

Fig.5



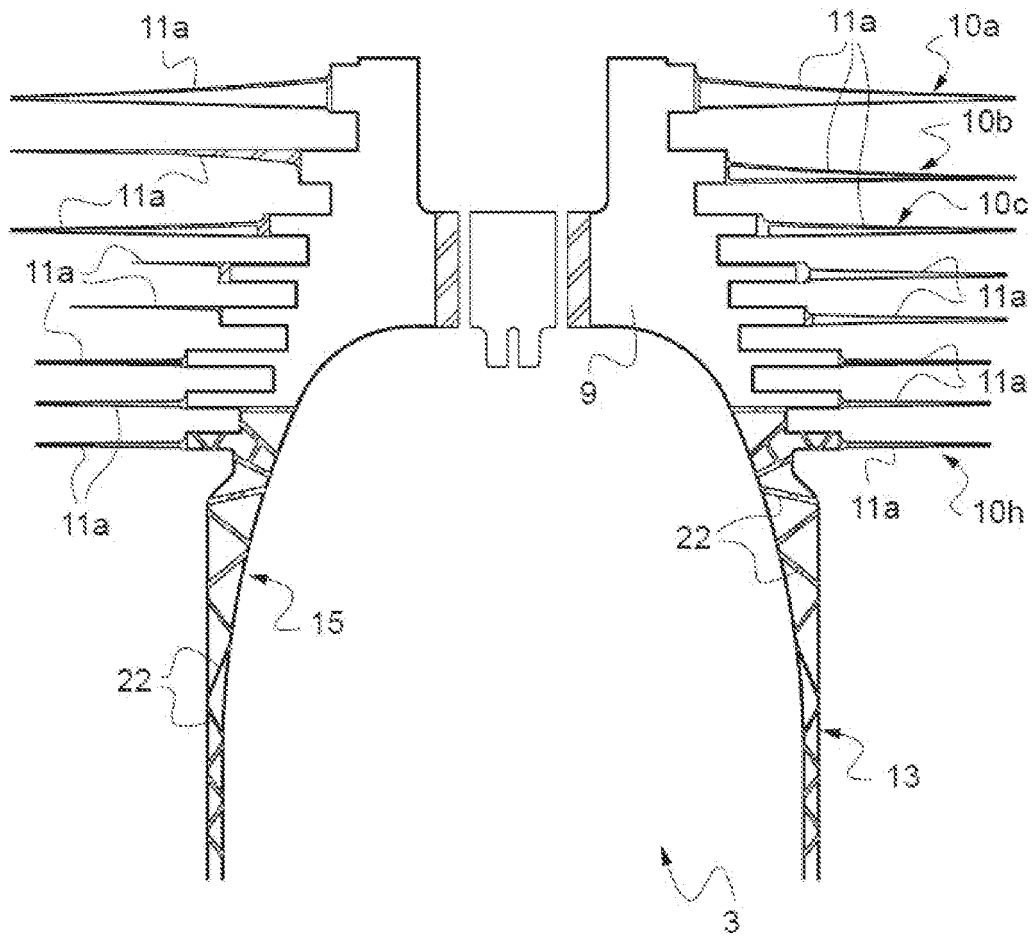
[Fig. 6]

Fig.6



[Fig. 7]

Fig.7



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

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

**FA 907982**  
**FR 2206931**

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
<b>A</b>	<b>EP 3 085 964 A1 (PFEIFFER VACUUM GMBH [DE]) 26 octobre 2016 (2016-10-26) * alinéas [0028] - [0051]; figures 1-3 *</b> -----	<b>1-16</b>	<b>F04D19/04</b> <b>F04D29/38</b>
<b>A</b>	<b>GB 2 568 066 A (EDWARDS LTD [GB]) 8 mai 2019 (2019-05-08) * alinéas [0040] - [0056]; figures 1,2 *</b> -----	<b>1-16</b>	
<b>A</b>	<b>US 2020/058479 A1 (STEINER URS [CH] ET AL) 20 février 2020 (2020-02-20) * alinéas [0072] - [0124]; figures 1-3, 4a, 4b, 5a, 5b, 6a, 6b *</b> -----	<b>1-16</b>	
			<b>DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)</b>
			<b>F04D</b> <b>B33Y</b> <b>C22C</b> <b>B22F</b>
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
<b>9 février 2023</b>		<b>Nobre Correia, S</b>	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul                      Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie                      A : arrière-plan technologique                      O : divulgation non-écrite                      P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention                      E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.                      D : cité dans la demande                      L : cité pour d'autres raisons                      .....                      &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2206931 FA 907982**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **09-02-2023**  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication	
<b>EP 3085964</b>	<b>A1</b>	<b>26-10-2016</b>	<b>CN 106064291 A</b>	<b>02-11-2016</b>
			<b>EP 3085964 A1</b>	<b>26-10-2016</b>
			<b>JP 2016205391 A</b>	<b>08-12-2016</b>
-----				
<b>GB 2568066</b>	<b>A</b>	<b>08-05-2019</b>	<b>GB 2568066 A</b>	<b>08-05-2019</b>
			<b>WO 2019086852 A1</b>	<b>09-05-2019</b>
-----				
<b>US 2020058479</b>	<b>A1</b>	<b>20-02-2020</b>	<b>CA 3050780 A1</b>	<b>14-02-2020</b>
			<b>CN 110821852 A</b>	<b>21-02-2020</b>
			<b>DE 102018119747 B3</b>	<b>13-02-2020</b>
			<b>GB 2577165 A</b>	<b>18-03-2020</b>
			<b>GB 2606658 A</b>	<b>16-11-2022</b>
			<b>SG 10201907411U A</b>	<b>30-03-2020</b>
			<b>US 2020058479 A1</b>	<b>20-02-2020</b>
-----				