

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

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
19 décembre 2024 (19.12.2024)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2024/256055 A1

(51) Classification internationale des brevets :

F04D 19/04 (2006.01) F04D 29/32 (2006.01)
F04D 29/02 (2006.01) F04D 29/58 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/EP2024/059434

(22) Date de dépôt international :

08 avril 2024 (08.04.2024)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

FR2306111 15 juin 2023 (15.06.2023) FR

(71) Déposant : PFEIFFER VACUUM [FR/FR] ; 98 Avenue
de Brogny, 74000 Annecy (FR).

(72) Inventeurs : BARBOSA MOREIRA, Alysson Bruno ;
C/O PFEIFFER VACUUM SAS - Service Propriété Indus-
trielle, 98 Avenue de Brogny, BP2069, 74009 Annecy Ce-
dex (FR). CAVAREC, Pierre-Emmanuel ; C/O PFEIF-
FER VACUUM SAS - Service Propriété Industrielle, 98
Avenue de Brogny, BP2069, 74009 Annecy Cedex (FR).
CHAVANNE, Cécile ; C/O PFEIFFER VACUUM SAS
- Service Propriété Industrielle, 98 Avenue de Brogny,
BP2069, 74009 Annecy Cedex (FR). VARENNES, Nico-
las ; C/O PFEIFFER VACUUM SAS - Service Propriété
Industrielle, 98 Avenue de Brogny, BP2069, 74009 Annecy
Cedex (FR).

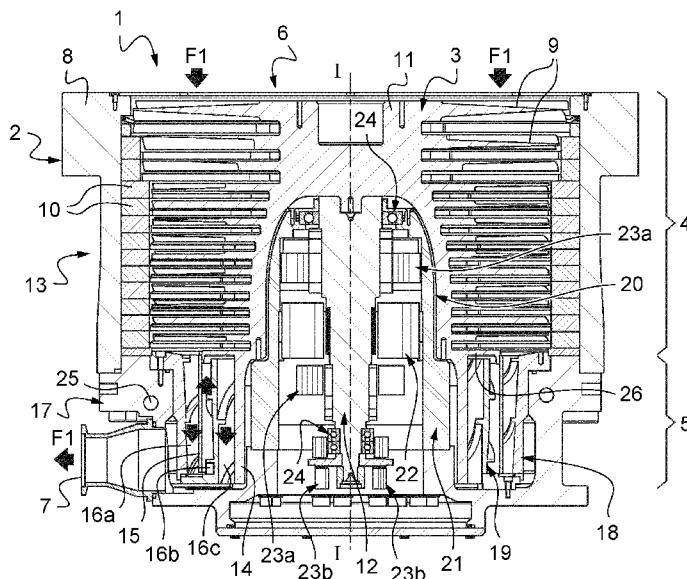
(74) Mandataire : INNOVINCIA ; 11 avenue des Tilleuls,
74200 THONON LES BAINS (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,

(54) Title: TURBOMOLECULAR VACUUM PUMP

(54) Titre : POMPE À VIDE TURBOMOLÉCULAIRE

Fig.1



(57) Abstract: The invention relates to a turbomolecular vacuum pump (1) comprising a stator (2), a rotor (3) configured to rotate in the stator (2), the rotor (3) comprising at least one stage of blades (9), an inner cylindrical skirt (14) and at least one outer cylindrical skirt (15), the inner and outer cylindrical skirts (14, 15) being coaxial and configured to rotate facing respective Holweck stators of the stator (2), the inner cylindrical skirt (14) being made of a material with a thermal conductivity that is higher than that of the material forming the at least one outer cylindrical skirt (15), characterised in that the thickness of the inner cylindrical skirt (14) is greater than the thickness of the outer cylindrical skirt (15).

(57) Abrégé : Pompe à vide (1) turbomoléculaire comportant un stator (2), un rotor (3) configuré pour tourner dans le stator (2), le rotor

AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, 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))

(3) comportant au moins un étage de pales (9), une jupe cylindrique interne (14) et au moins une jupe cylindrique externe (15), les jupes cylindriques interne et externe (14, 15) étant coaxiales et configurées pour tourner en regard de stators Holweck respectifs du stator (2), la jupe cylindrique interne (14) étant réalisée dans un matériau de conductivité thermique supérieure à celle du matériau formant la au moins une jupe cylindrique externe (15), caractérisée en ce que l'épaisseur de la jupe cylindrique interne (14) est supérieure à l'épaisseur de la jupe cylindrique externe (15).

Description

Titre : Pompe à vide turbomoléculaire

Domaine technique de l'invention

[0001] La présente invention concerne une pompe à vide turbomoléculaire.

5 Arrière-plan technique

[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 à une rotation de plus de vingt mille tours par minute.

10 **[0003]** Certaines applications de pompage nécessitent le pompage de forts flux gazeux, et en particulier de gaz légers. Dans l'industrie du semi-conducteur, et notamment dans les procédés de lithographie EUV, des procédés de nettoyage des chambres de procédé requièrent le pompage de forts flux d'hydrogène. C'est également le cas de certains procédés de fabrication de batteries.

15 **[0004]** Le pompage de forts flux d'hydrogène peut être rendu possible notamment en utilisant des pompes à vide turbomoléculaire présentant d'importants taux de compression. On connaît par exemple des pompes à vide turbomoléculaire présentant trois étages Holweck dans lesquels les gaz à pomper circulent en série. Ces étages Holweck sont formés de stators Holweck interposés entre deux jupes cylindriques
20 coaxiales du rotor, les gaz circulant tour à tour dans des directions axiales opposées entre les jupes et les stators Holweck.

[0005] Cependant, dans le cas de rotors réalisés en matériau aluminium, le diamètre de la jupe externe du rotor est limité afin de ne pas engendrer trop de contraintes mécaniques du fait des forces centrifuges exercées pour maîtriser les risques de fluage
25 associés. Un autre inconvénient provient de la difficulté de réalisation du rotor aluminium monobloc du fait du faible interstice séparant les deux jupes. Également, ce rotor est relativement lourd, ce qui peut engendrer une consommation énergétique importante et un temps de mise en route plus long.

[0006] On connaît également des rotors dont les jupes cylindriques sont réalisées en
30 matériau composite. Il est cependant difficile de maintenir une température basse du rotor (autour de 50°C au maximum par exemple) au niveau de l'étage turbomoléculaire car la chaleur générée par la compression et friction des gaz est difficilement évacuable d'une part, par conduction du fait de la faible conductibilité thermique des

jupes et d'autre part, par rayonnement à ces températures. De plus, le contrôle des paliers magnétiques est difficile à réaliser pour des rotors ayant des jupes en matériau composite du fait de leur faible poids entraînant un ratio entre le moment d'inertie polaire et diamétral (I_p / I_d) élevé.

- 5 **[0007]** On cherche donc à réaliser un rotor de pompe à vide turbomoléculaire à fort taux de compression, présentant une bonne tenue mécanique et dont la température d'échauffement du rotor peut être maîtrisée pour ne pas excéder quelques dizaines de degrés. On cherche également à améliorer le contrôle des paliers magnétiques notamment pour abaisser le niveau vibratoire de la pompe à vide.

10 **Résumé de l'invention**

[0008] Un but de la présente invention est donc de proposer une pompe à vide turbomoléculaire résolvant au moins partiellement les inconvénients de l'état de la technique.

- [0009]** A cet effet, l'invention a pour objet une pompe à vide turbomoléculaire
15 comportant un stator, un rotor configuré pour tourner dans le stator, le rotor comportant au moins un étage de pales, une jupe cylindrique interne et au moins une jupe cylindrique externe, les jupes cylindriques interne et externe étant coaxiales et configurées pour tourner en regard de stators Holweck respectifs du stator, caractérisée en ce que la jupe cylindrique interne est réalisée dans un matériau de
20 conductivité thermique supérieure à celle du matériau formant la au moins une jupe cylindrique externe.

- [0010]** Le matériau de meilleur conductivité thermique de la jupe cylindrique interne permet de favoriser les échanges thermiques de conduction, de convection et de radiation avec le stator. Le rotor peut ainsi être mieux refroidi. La succession des
25 étages Holweck en série permet ainsi d'atteindre de forts taux de compression, notamment pour permettre le pompage de forts flux d'hydrogène tout en permettant de conserver une température basse du rotor.

[0011] La pompe à vide peut en outre comporter une ou plusieurs des caractéristiques qui sont décrites ci-après, prises seules ou en combinaison.

- 30 **[0012]** La conductivité thermique de la jupe cylindrique interne est par exemple au moins dix fois supérieure, telle qu'au moins cinquante fois supérieure, à la conductivité thermique du matériau formant la au moins une jupe cylindrique externe.

[0013] La jupe cylindrique interne peut être métallique, telle que réalisée en aluminium.

[0014] La au moins une jupe cylindrique externe peut être réalisée en matériau composite. Le composite comporte par exemple une matrice thermodurcissable ou thermoplastique renforcée de fibres de verre ou de carbone.

5 **[0015]** L'épaisseur de la jupe cylindrique interne peut être supérieure à l'épaisseur de la jupe cylindrique externe, tel qu'au moins deux fois supérieure. Une épaisseur plus grande de la jupe cylindrique interne permet de favoriser les échanges thermiques avec le stator et donc permet d'abaisser la température d'équilibre. L'épaisseur de la jupe cylindrique interne peut être comprise entre 5mm et 10mm. L'épaisseur de la jupe cylindrique externe peut être comprise entre 2mm et 5mm.

10 **[0016]** La masse volumique du matériau de plus haute conductibilité thermique, tel que l'aluminium, peut être plus élevée que la masse volumique du matériau de plus faible conductibilité thermique, telle que le composite. Avec une masse volumique plus élevée et/ou une épaisseur plus importante, la jupe cylindrique interne contribue davantage à l'augmentation de l'inertie diamétrale I_d qu'à celle de l'inertie polaire I_p de sorte que le ratio entre le moment d'inertie polaire et diamétral (I_p / I_d) du rotor diminue.
15 La jupe cylindrique externe a le même effet sur le ratio (moins lourd à l'extérieur) mais minimisé par la densité du matériau, donc l'utilisation d'un matériau de densité et/ou d'épaisseur moindre pour la jupe cylindrique externe permet de minimiser l'augmentation du ratio. Les moments d'inertie polaire et diamétrale du rotor peuvent
20 donc être optimisés, le rotor devient plus stable ce qui permet de réduire le niveau vibratoire de la pompe à vide.

[0017] Par ailleurs, la jupe cylindrique externe en matériau composite peut présenter un grand diamètre sans risque de fluage et sans trop forte augmentation du poids. De plus, le rotor est moins couteux qu'un rotor entièrement réalisé en matériau aluminium.

25 **[0018]** Selon un exemple de réalisation, le stator comporte un dôme s'étendant sous la jupe cylindrique interne, la pompe à vide comportant un dispositif de refroidissement configuré pour refroidir le stator, et notamment le dôme du stator.

[0019] Selon un exemple de réalisation, le stator comporte une douille externe et une douille interne coaxiale, agencée à l'intérieur de la douille externe, les stators Holweck
30 étant formés de premières rainures hélicoïdales ménagées dans la douille externe en regard d'une face externe de la jupe cylindrique externe, de deuxièmes rainures hélicoïdales ménagées dans la douille interne sur une face externe située en regard d'une face interne de la jupe cylindrique externe et de troisièmes rainures hélicoïdales

ménagées dans la douille interne en regard de la face externe de la jupe cylindrique interne.

[0020] Selon un exemple de réalisation, le rotor présente en outre :

- un moyeu, l'au moins un étage de pales s'étendant radialement du moyeu, et
- 5 - une entretoise radiale s'étendant du sommet de la jupe cylindrique interne, la jupe cylindrique interne, le au moins un étage de pales, le moyeu et l'entretoise annulaire étant réalisé d'une seule pièce.

[0021] La jupe cylindrique externe peut être collée sur la périphérie de l'entretoise radiale.

- 10 **[0022]** Le rotor peut être guidé latéralement et axialement par des paliers magnétiques.

Brève description des figures

[0023] D'autres avantages et caractéristiques apparaîtront à la lecture de la description de l'invention, ainsi que des dessins annexés sur lesquels :

- 15 **[0024]** [Fig.1] La figure 1 montre une vue schématique en coupe axiale d'un exemple de pompe à vide turbomoléculaire.

[0025] [Fig.2] La figure 2 montre une vue en coupe du rotor de la pompe à vide turbomoléculaire de la figure 1.

- 20 **[0026]** Sur ces figures, les éléments identiques portent les mêmes numéros de référence.

Description détaillée

- [0027]** 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, sans s'écarter de la portée de l'invention, telle que définie par les revendications.
- 25

- [0028]** On entend par « en amont », un élément qui est placé avant un autre par rapport au sens de circulation du gaz à pomper. A contrario, on entend par « en aval », un élément placé après un autre par rapport au sens de circulation du gaz à pomper.
- 30

[0029] On définit la direction axiale de la pompe à vide 1 comme la direction parallèle à l'axe de rotation I-I de la pompe à vide 1.

[0030] On considère qu'un élément est situé plus à l'extérieur qu'un autre élément s'il est plus éloigné de l'axe de rotation que l'autre élément. On considère qu'un élément est situé plus à l'intérieur qu'un autre élément s'il est plus proche de l'axe de rotation que l'autre élément.

5 **[0031]** La figure 1 illustre un exemple de réalisation d'une pompe à vide 1 turbomoléculaire.

[0032] 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, de manière à entraîner des gaz à pomper dans
10 un chemin d'écoulement des gaz interposé entre le stator 2 et le rotor 3.

[0033] La pompe à vide 1 est par exemple destinée à mettre sous vide une chambre de procédés dans laquelle d'importants flux d'hydrogène peuvent être pompés, comme une chambre de procédés de lithographie EUV dans l'industrie semi-conducteurs ou une chambre de procédés de fabrication de batteries.

15 **[0034]** La pompe à vide 1 turbomoléculaire est dite hybride : elle comporte un étage turbomoléculaire 4 et un étage moléculaire 5 (« molecular drag stage » en anglais) situé en aval de l'étage turbomoléculaire 4 dans la direction de circulation des gaz pompés (représentée par les flèches F1 sur la figure 1). Les gaz pompés entrent par l'orifice d'aspiration 6, traversent d'abord l'étage turbomoléculaire 4, puis l'étage
20 moléculaire 5, pour être ensuite évacués vers un orifice de refoulement 7 de la pompe à vide 1 turbomoléculaire. En fonctionnement, l'orifice de refoulement 7 est raccordé à un pompage primaire.

[0035] Dans l'étage turbomoléculaire 4, le rotor 3 comporte au moins un étage de pales 9 et le stator 2 comporte au moins un étage d'ailettes 10. Les étages de pales 9
25 et d'ailettes 10 se succèdent axialement le long de l'axe de rotation I-I du rotor 3 dans l'étage turbomoléculaire 4. Le rotor 3 comporte par exemple plus de quatre étages de pales 9, comme entre quatre et quinze étages de pales 9 (treize dans l'exemple illustré sur les figures 1 et 2).

[0036] Chaque étage de pales 9 du rotor 3 comporte des pales inclinées qui partent en
30 direction sensiblement radiale d'un moyeu 11 du rotor 3 fixé à un arbre d'entraînement 12 de la pompe à vide 1, par exemple par vissage. Les pales sont réparties régulièrement en périphérie du moyeu 11.

[0037] Chaque étage d'ailettes 10 du stator 2 comporte une couronne de laquelle partent, en direction sensiblement radiale, des ailettes inclinées, réparties régulièrement sur le pourtour intérieur de la couronne. Les ailettes d'un étage d'ailettes 10 du stator 2 viennent s'engager entre les pales de deux étages de pales 9 du rotor 3 successifs. Les pales 9 du rotor 3 et les ailettes 10 du stator 2 sont inclinées pour guider les molécules de gaz pompés vers l'étage moléculaire 5.

[0038] Le stator 2 comporte une partie statorique turbomoléculaire 13 recevant les au moins deux étages d'ailettes 10. Cette partie statorique turbomoléculaire 13 est ouverte à une extrémité sur l'orifice d'aspiration 6 de la pompe à vide 1. Elle peut comporter une bride annulaire d'entrée 8 entourant l'orifice d'aspiration 6 pour raccorder la pompe à vide 1 à une enceinte dont on souhaite abaisser la pression.

[0039] Dans l'étage moléculaire 5, et comme mieux visible sur la figure 2, le rotor 3 comporte en outre une jupe cylindrique interne 14 et au moins une jupe cylindrique externe 15, dites jupes Holweck, les jupes cylindriques interne et externe 14, 15 étant coaxiales, agencées en aval des au moins deux étages de pales 9 et configurées pour tourner en regard de stators Holweck respectifs du stator 2.

[0040] Chaque jupe 14, 15 est formée par un cylindre lisse, qui tourne en regard de stators Holweck respectifs formés de rainures hélicoïdales 16a, 16b, 16c (figure 1). Les rainures hélicoïdales 16a, 16b, 16c de chaque stator Holweck sont agencées les unes au-dessus des autres. Les rainures hélicoïdales 16a, 16b, 16c permettent de comprimer et guider les gaz pompés vers un refoulement de la pompe à vide 1 ménagé dans le stator 2 et débouchant par l'orifice de refoulement 7.

[0041] Selon un exemple de réalisation, le stator 2 comporte une douille externe 18 et une douille interne 19 coaxiale et agencée à l'intérieur de la douille externe 18. Les douilles 18, 19 sont reçues dans une partie statorique moléculaire 17 à laquelle elles sont fixées. La partie statorique moléculaire 17 est fixée à la partie statorique turbomoléculaire 13 et lui succède axialement le long de l'axe de rotation I-I du rotor 3.

[0042] Les stators Holweck sont formés de premières rainures hélicoïdales 16a ménagées dans la douille externe 18 en regard d'une face externe de la jupe cylindrique externe 15, de deuxième rainures hélicoïdales 16b ménagées dans la douille interne 19 sur une face externe située en regard d'une face interne de la jupe cylindrique externe 15 et de troisième rainures hélicoïdales 16c ménagées dans la douille interne 19 en regard de la face externe de la jupe cylindrique interne 14.

[0043] Un premier interstice axial est formé entre l'extrémité annulaire de la jupe cylindrique externe 15 et le stator 2 au niveau des douilles 18, 19 et un deuxième interstice axial est formé entre l'extrémité annulaire de la douille interne 19 et le rotor 3, entre les deux jupes 14, 15.

5 **[0044]** En fonctionnement, les gaz circulent dans des directions parallèles dans la succession d'étages Holweck situés entre les parois lisses des jupes 14, 15 et les rainures hélicoïdales 16a, 16b, 16c des douilles 18, 19, ces étages Holweck étant raccordés en série d'une part, à l'extrémité annulaire de la jupe cylindrique externe 15 et d'autre part, à l'extrémité annulaire de la douille interne 19.

10 **[0045]** Le rotor 3 comporte en outre un bol interne 20 (figure 2), coaxial à l'axe de rotation I-I et agencé en vis-à-vis d'un dôme 21 du stator 2, dont une embase est fixée à la partie statorique moléculaire 17, le dôme 21 s'étendant sous la jupe cylindrique interne 14 et saillant sous le rotor 3 (figure 1). En fonctionnement, le rotor 3 tourne dans le stator 2 sans contact entre le bol interne 20 et le dôme 21.

15 **[0046]** Le rotor 3 est entraîné en rotation dans le stator 2 par un moteur 22 de la pompe à vide 1. Le moteur 22 est par exemple agencé dans le dôme 21 du stator 2, lui-même agencé sous le bol interne 20 du rotor 3, l'arbre d'entraînement 12 traversant le dôme 21 du stator 2.

[0047] Le rotor 3 est guidé latéralement et axialement par des paliers magnétiques 20 23a, 23b et des paliers mécaniques 24 de secours, supportant l'arbre d'entraînement 12 du rotor 3, situés dans le stator 2. Il y a par exemple des premiers paliers magnétiques 23a radiaux supportant et guidant l'arbre d'entraînement 12 dans le dôme 21 du stator 2, des seconds paliers magnétiques 23a radiaux au sommet du dôme 21 à une première extrémité de l'arbre d'entraînement 12 ainsi que des paliers magnétiques 25 23b axiaux situés à une deuxième extrémité de l'arbre d'entraînement 12. Les paliers magnétiques 23a, 23b actifs permettent de maintenir un rotor 3 en lévitation dans le champ magnétique créé.

[0048] D'autres composants électriques ou électroniques peuvent être reçus dans le dôme 21 du stator 2, comme des capteurs de position.

30 **[0049]** La pompe à vide 1 peut comporter un dispositif de refroidissement 25 du stator 2, par exemple réalisé par un circuit hydraulique, parcouru par un liquide de refroidissement, tel que de l'eau, par exemple à température ambiante. Le dispositif de refroidissement 25 est configuré pour refroidir le stator 2, et notamment le dôme 21, en

étant agencé par exemple dans le dôme 21 ou dans un élément en contact thermique avec le dôme 21 tel que la partie statorique moléculaire 17 (figure 1), afin de pouvoir refroidir continuellement les éléments qu'il contient comme notamment les paliers 23a, 23b, 24, le moteur 22 et autres composants électriques ou électroniques pour
5 permettre leurs fonctionnements.

[0050] La jupe cylindrique interne 14 est réalisée dans un matériau de conductivité thermique supérieure à celle du matériau formant la au moins une jupe cylindrique externe 15. La conductivité thermique de la jupe cylindrique interne 14 est par exemple au moins dix fois supérieure, voire au moins cinquante fois supérieure, à la
10 conductivité thermique du matériau formant la au moins une jupe cylindrique externe 15.

[0051] Si le rotor 3 comporte une jupe cylindrique interne 14 et plusieurs jupes cylindriques externes 15 coaxiales, les jupes cylindriques externe 15 peuvent toutes être réalisées dans un matériau de conductivité thermique inférieure à celle du
15 matériau formant la jupe cylindrique interne 14.

[0052] La jupe cylindrique interne 14 est par exemple métallique, telle que réalisée en aluminium. Il est également possible de revêtir la jupe cylindrique interne 14, notamment la face interne, d'un revêtement conducteur thermique, tel qu'un revêtement DLC (pour « Diamond Like Carbon » en anglais).

[0053] La jupe cylindrique externe 15 est par exemple réalisée en matériau composite (à matrice organique). Le composite comporte par exemple une matrice therm durcissable, telle qu'une résine, telle qu'une résine époxyde (également appelée polyépoxyde ou polymère époxyde) ou une matrice thermoplastique, renforcée de fibres de verre ou de carbone. Il est également possible de revêtir la jupe
20 cylindrique externe 15, notamment la face interne, d'un revêtement conducteur thermique, tel qu'un revêtement DLC (pour « Diamond Like Carbon » en anglais).

[0054] Le rotor 3 comporte par exemple une jupe cylindrique interne 14 en aluminium et une jupe cylindrique externe 15 en matériau composite à résine époxyde et fibres de carbone. La conductivité thermique de l'aluminium ($2,3 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) est nettement
25 supérieure à celle d'un matériau composite à résine époxyde et fibres de carbone ($2,0 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$).

[0055] Selon un exemple de réalisation, le moyeu 11, l'au moins un étage de pales 9 s'étendant radialement du moyeu 11, la jupe cylindrique interne 14 et une entretoise

radiale 26 s'étendant radialement du sommet de la jupe cylindrique interne 14, entre la jupe cylindrique interne 14 et le au moins un étage de pales 9, sont réalisés d'une seule pièce, par exemple en matériau métallique, tel qu'en aluminium. La jupe cylindrique externe 15 peut être fixée sur la périphérie de l'entretoise radiale 26 par exemple par collage.

[0056] Le matériau de meilleur conductivité thermique de la jupe cylindrique interne 14 permet de favoriser les échanges thermiques de conduction, de convection et de radiation avec le dôme 21 refroidi situé sous la jupe cylindrique interne 14. La jupe cylindrique interne 14 mais aussi les étages de pales 9 du rotor 3 peuvent ainsi être mieux refroidis.

[0057] L'épaisseur de la jupe cylindrique interne 14 peut être comprise entre 5mm et 10mm, telle que 7mm. L'épaisseur de la jupe cylindrique externe 15 peut être comprise entre 2mm et 5mm, telle que 4mm. On prévoit par exemple que l'épaisseur de la jupe cylindrique interne 14 soit supérieure à l'épaisseur de la jupe cylindrique externe 15, tel qu'au moins deux fois supérieure. Une épaisseur plus grande de la jupe cylindrique interne 14 permet de favoriser les échanges thermiques avec le stator 2 et donc permet d'abaisser la température d'équilibre. L'épaisseur de la jupe cylindrique interne 14 peut augmenter et l'épaisseur de la jupe cylindrique 15 peut diminuer avec la réduction du diamètre des jupes 14, 15 du fait de la réduction des contraintes mécaniques.

[0058] Par leur géométrie, les pompes à vide 1 turbomoléculaires présentent des ratios entre le moment d'inertie polaire et diamétral (I_p / I_d) du rotor 3 inférieurs à un et on cherche à abaisser le plus possible ce ratio pour mieux contrôler les paliers magnétiques actifs (PMA) et l'abaissement du niveau vibratoire de la pompe à vide 1.

[0059] La masse volumique du matériau de plus haute conductibilité thermique, tel que l'aluminium, peut être plus élevée que la masse volumique du matériau de plus faible conductibilité thermique, telle que le composite.

[0060] Avec une masse volumique plus élevée et/ou une épaisseur plus importante, la jupe cylindrique interne 14 contribue davantage à l'augmentation de l'inertie diamétrale I_d (car on augmente la masse loin du centre de gravité) qu'à celle de l'inertie polaire I_p (car petit diamètre) de sorte que le ratio entre le moment d'inertie polaire et diamétral (I_p / I_d) du rotor 3 diminue. La jupe cylindrique externe 15 a le même effet sur le ratio (moins lourd à l'extérieur) mais minimisé par la densité du matériau, donc l'utilisation

d'un matériau de densité et/ou d'épaisseur moindre pour la jupe cylindrique externe 15 permet de minimiser l'augmentation du ratio.

5 [0061] Par ailleurs, la jupe cylindrique externe 15 en matériau composite peut présenter un grand diamètre sans risque de fluage et sans trop forte augmentation du poids. De plus, le rotor 3 est moins couteux qu'un rotor entièrement réalisé en matériau aluminium.

10 [0062] La succession des étages Holweck en série permet ainsi d'atteindre de forts taux de compression, notamment pour permettre le pompage de forts flux d'hydrogène tout en permettant de conserver une température basse du rotor 3. De plus, les moments d'inertie polaire et diamétrale du rotor 3 sont optimisés, le rotor 3 devient plus stable ce qui permet de réduire le niveau vibratoire de la pompe à vide 1.

REVENDEICATIONS

[Revendication 1] Pompe à vide (1) turbomoléculaire comportant un stator (2), un rotor (3) configuré pour tourner dans le stator (2), le rotor (3) comportant au moins un étage de pales (9), une jupe cylindrique interne (14) et au moins une jupe cylindrique externe (15), les jupes cylindriques interne et externe (14, 15) étant coaxiales et configurées pour tourner en regard de stators Holweck respectifs du stator (2), la jupe cylindrique interne (14) étant réalisée dans un matériau de conductivité thermique supérieure à celle du matériau formant la au moins une jupe cylindrique externe (15) caractérisé en ce que l'épaisseur de la jupe cylindrique interne (14) est supérieure à l'épaisseur de la jupe cylindrique externe (15).

[Revendication 2] Pompe à vide (1) selon la revendication 1, caractérisée en ce que la conductivité thermique de la jupe cylindrique interne (14) est au moins dix fois supérieure, telle qu'au moins cinquante fois supérieure, à la conductivité thermique du matériau formant la au moins une jupe cylindrique externe (15).

[Revendication 3] Pompe à vide (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que la jupe cylindrique interne (14) est métallique.

[Revendication 4] Pompe à vide (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que la jupe cylindrique interne (14) est réalisée en aluminium.

[Revendication 5] Pompe à vide (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que la au moins une jupe cylindrique externe (15) est réalisée en matériau composite.

[Revendication 6] Pompe à vide (1) selon la revendication précédente, caractérisée en ce que le composite comporte une matrice thermodurcissable ou thermoplastique renforcée de fibres de verre ou de carbone.

[Revendication 7] Pompe à vide (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'épaisseur de la jupe cylindrique interne (14) est au moins deux fois supérieure à l'épaisseur de la jupe cylindrique externe (15).

[Revendication 8] Pompe à vide (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'épaisseur de la jupe cylindrique interne (14) est comprise entre 5mm et 10mm.

[Revendication 9] Pompe à vide (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'épaisseur de la jupe cylindrique externe (15) est comprise entre 2mm et 5mm.

[Revendication 10] Pompe à vide (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que le stator (2) comporte un dôme (21) s'étendant sous la jupe cylindrique interne (14), la pompe à vide (1) comportant un dispositif de refroidissement (25) configuré pour refroidir le stator (2), et notamment le dôme (21) du stator (2).

5 **[Revendication 11]** Pompe à vide (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que le stator (2) comporte une douille externe (18) et une douille interne (19) coaxiale, agencée à l'intérieur de la douille externe (18), les stators Holweck étant formés de premières rainures hélicoïdales (16a) ménagées dans la douille externe (18) en regard d'une face externe de la jupe cylindrique externe (15), de
10 deuxièmes rainures hélicoïdales (16b) ménagées dans la douille interne (19) sur une face externe située en regard d'une face interne de la jupe cylindrique externe (15) et de troisièmes rainures hélicoïdales (16c) ménagées dans la douille interne (19) en regard de la face externe de la jupe cylindrique interne (14).

[Revendication 12] Pompe à vide (1) selon l'une des revendications précédentes,
15 caractérisée en ce que le rotor (3) présente en outre :

- un moyeu (11), l'au moins un étage de pales (9) s'étendant radialement du moyeu (11), et
- une entretoise radiale (26) s'étendant du sommet de la jupe cylindrique interne (14), la jupe cylindrique interne (14), le au moins un étage de pales (9), le moyeu (11) et
20 l'entretoise annulaire (26) étant réalisé d'une seule pièce.

[Revendication 13] Pompe à vide (1) selon la revendication précédente, caractérisée en ce que la jupe cylindrique externe (15) est collée sur la périphérie de l'entretoise radiale (26).

[Revendication 14] Pompe à vide (1) selon l'une des revendications précédentes,
25 caractérisée en ce que le rotor (3) est guidé latéralement et axialement par des paliers magnétiques (23a, 23b).

Fig.1

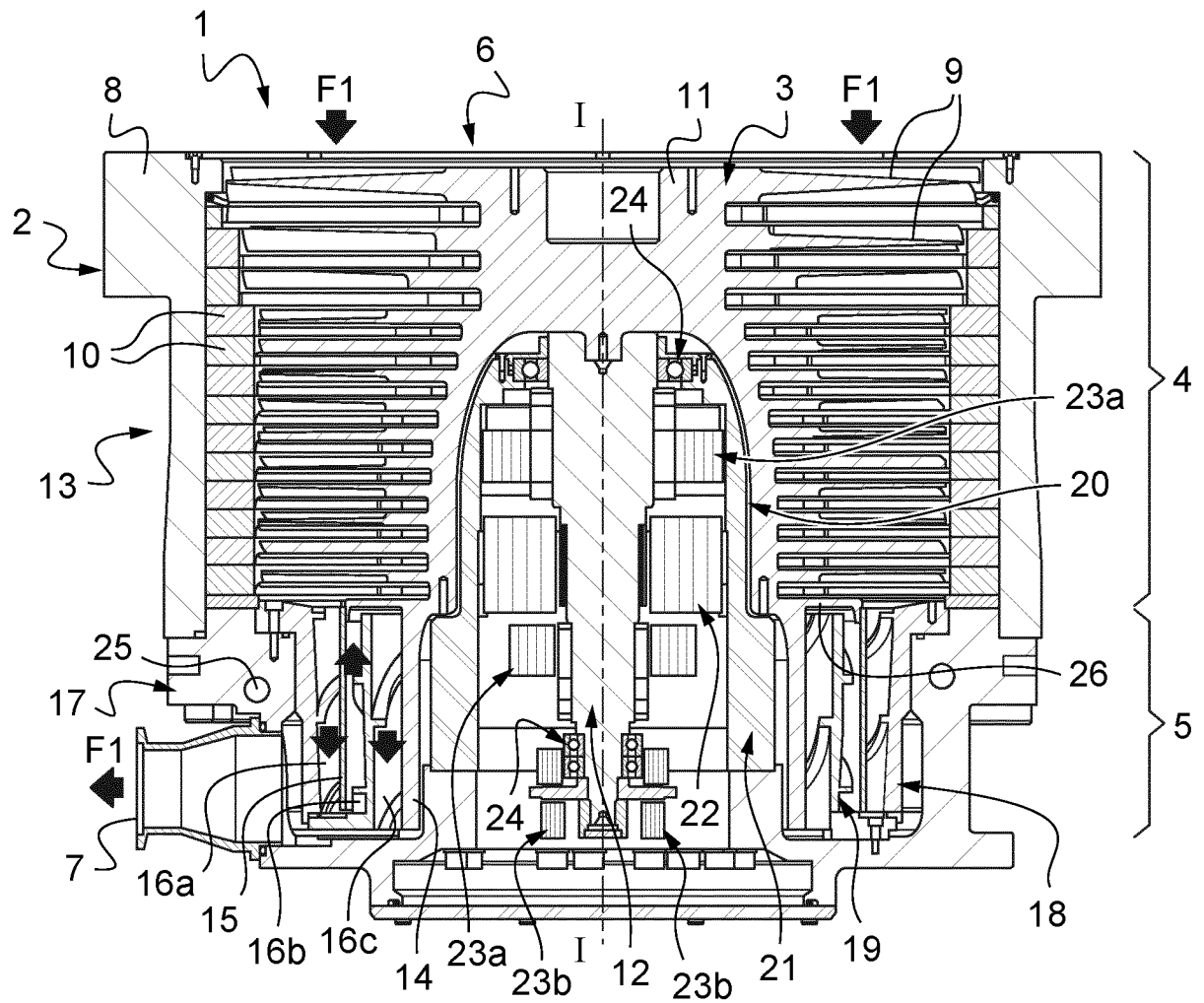
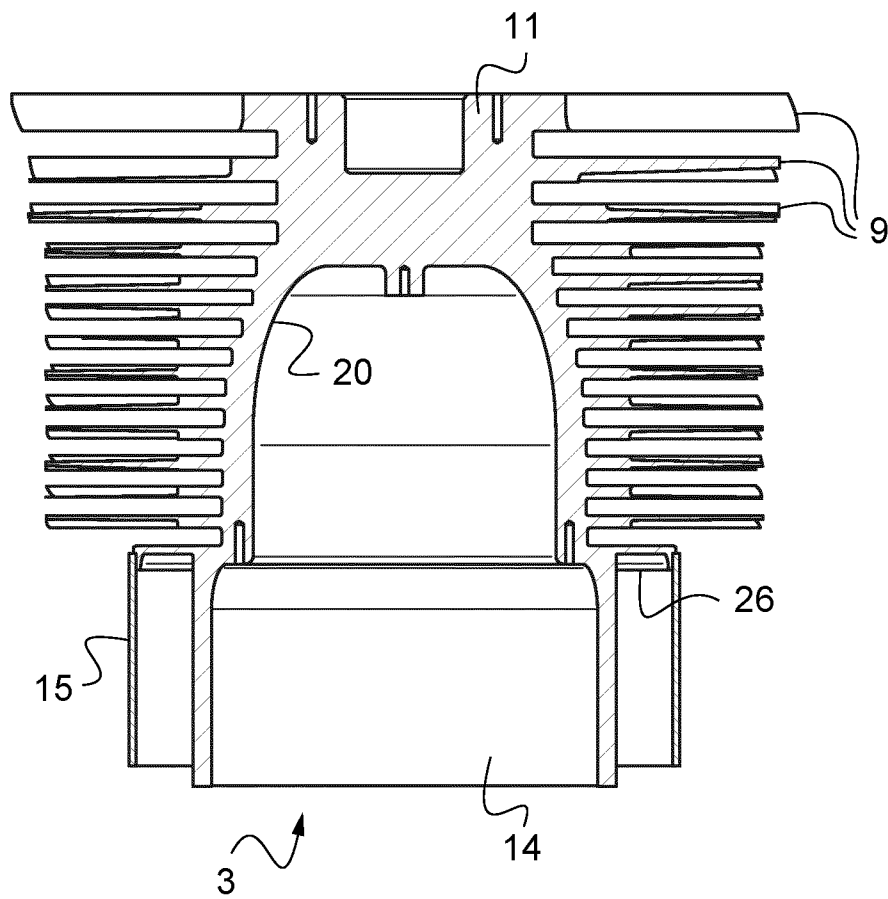


Fig.2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/059434

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER F04D 19/04 (2006.01)i; F04D 29/02 (2006.01)i; F04D 29/32 (2006.01)i; F04D 29/58 (2006.01)i 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) F04D 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.
A	JP H10122179 A (OSAKA SHINKU KIKI SEISAKUSHO) 12 May 1998 (1998-05-12) paragraph [0017] - paragraph [0020] paragraph [0030] figures 1, 2	1-14
A	EP 3536965 A1 (PFEIFFER VACUUM GMBH [DE]) 11 September 2019 (2019-09-11) paragraph [0042] figure 3	1-14
A	US 2022412369 A1 (MIWATA TOORU [JP] ET AL) 29 December 2022 (2022-12-29) paragraph [0034] figures 1, 2	1-14
A	JP 4785400 B2 (OSAKA VACUUM LTD) 05 October 2011 (2011-10-05) paragraph [0030] - paragraph [0031] figure 1	1-14
☒ 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 12 June 2024		Date of mailing of the international search report 26 June 2024
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands (Kingdom of the) Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Oliveira, Damien Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/059434

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002285989 A (BOC TECHNOLOGIES LTD) 03 October 2002 (2002-10-03) paragraph [0008] paragraph [0022] figure 1	1-14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2024/059434

Patent document cited in search report				Publication date (day/month/year)		Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)	
JP	H10122179	A	12 May 1998	JP	3792318	B2		05 July 2006	
EP	3536965	A1	11 September 2019	JP	H10122179	A		12 May 1998	
EP	3536965	A1	11 September 2019	EP	3536965	A1		11 September 2019	
JP	7208817	B2	19 January 2023	JP	2019163764	A		26 September 2019	
US	2022412369	A1	29 December 2022	CN	114364880	A		15 April 2022	
EP	4043734	A1	17 August 2022	JP	2021055673	A		08 April 2021	
KR	20220066250	A	24 May 2022	US	2022412369	A1		29 December 2022	
WO	2021065584	A1	08 April 2021	JP	4785400	B2		05 October 2011	
JP	4785400	B2	05 October 2011	JP	2006291794	A		26 October 2006	
JP	2002285989	A	03 October 2002	NONE					

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. F04D19/04 F04D29/02 F04D29/32 F04D29/58 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) F04D 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
A	JP H10 122179 A (OSAKA SHINKU KIKI SEISAKUSHO) 12 mai 1998 (1998-05-12) alinéa [0017] - alinéa [0020] alinéa [0030] figures 1, 2 -----	1 - 14
A	EP 3 536 965 A1 (PFEIFFER VACUUM GMBH [DE]) 11 septembre 2019 (2019-09-11) alinéa [0042] figure 3 -----	1 - 14
A	US 2022/412369 A1 (MIWATA TOORU [JP] ET AL) 29 décembre 2022 (2022-12-29) alinéa [0034] figures 1, 2 ----- - / - -	1 - 14
☒ 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 12 juin 2024		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 26/06/2024
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 Oliveira, Damien

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	JP 4 785400 B2 (OSAKA VACUUM LTD) 5 octobre 2011 (2011-10-05) alinéa [0030] - alinéa [0031] figure 1 -----	1 - 14
A	JP 2002 285989 A (BOC TECHNOLOGIES LTD) 3 octobre 2002 (2002-10-03) alinéa [0008] alinéa [0022] figure 1 -----	1 - 14

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2024/059434

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP H10122179 A	12-05-1998	JP 3792318 B2	05-07-2006
		JP H10122179 A	12-05-1998
EP 3536965 A1	11-09-2019	EP 3536965 A1	11-09-2019
		JP 7208817 B2	19-01-2023
		JP 2019163764 A	26-09-2019
US 2022412369 A1	29-12-2022	CN 114364880 A	15-04-2022
		EP 4043734 A1	17-08-2022
		JP 2021055673 A	08-04-2021
		KR 20220066250 A	24-05-2022
		US 2022412369 A1	29-12-2022
		WO 2021065584 A1	08-04-2021
JP 4785400 B2	05-10-2011	JP 4785400 B2	05-10-2011
		JP 2006291794 A	26-10-2006
JP 2002285989 A	03-10-2002	AUCUN	