

(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
12 décembre 2013 (12.12.2013)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2013/182210 A1

(51) Classification internationale des brevets :
F03B 3/02 (2006.01) *F03B 15/14* (2006.01)
F03B 3/18 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2012/002368

(22) Date de dépôt international :
5 juin 2012 (05.06.2012)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(72) Inventeur; et

(71) Déposant : FERMÉ, Jean-Marc [FR/BE]; Clos des Es-
sarts, 16, B-1150 Woluwe Saint Pierre (BE).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,

HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, 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, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM,
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

- relative au droit du déposant de demander et d'obtenir un brevet (règle 4.17.ii))
- relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv))

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : MOBILE DISTRIBUTOR HAVING TWO DEGREES OF FREEDOM

(54) Titre : DISTRIBUTEUR MOBILE A DEUX DEGRES DE LIBERTE

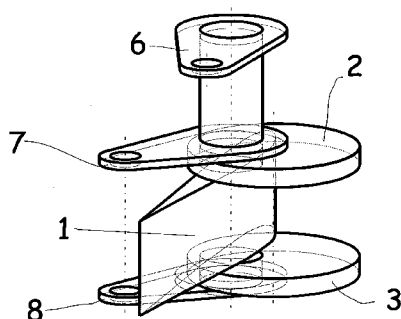


Fig 4b

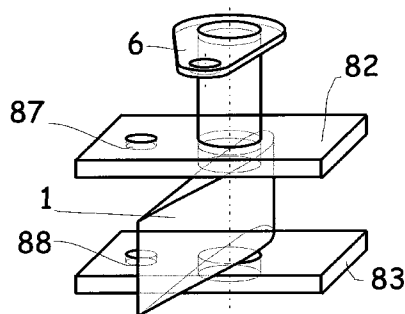


Fig 7b

(57) Abstract : The invention relates to a mobile distributor having two de-
grees of freedom with which Francis turbine or radial-pump turbine engines
are to be provided, in order to vary, by means of the combined action of two
rotations, the opening angle of the guide vanes, as well as the opening angle
of the eccentric bearings affecting the value of the radius of installation of the
guide vanes, in order to change the angles of the fluid streams at the trailing
edge of the guide vanes and the fluid flow rate at the inlet of the wheel of the
turbine engine. A three-dimensional conjugation rule is used for controlling
the radius of installation of the guide vanes on the basis of the opening set
value of the guide vanes and the drop value, with a view to increasing the
yield characteristic depending on the flow rate, stabilizing operation with a
partial load, and delaying the occurrence of cavitation on the blades of the
wheel of the turbine engine.

(57) Abrégé : Distributeur mobile à deux degrés de liberté destiné à équiper
des turbomachines de type Francis ou turbine-pompe radiale, permettant de
faire varier par une action combinée deux rotations, d'une part l'angle d'ou-
verture des directrices, et d'autre part l'angle d'ouverture de paliers excentrés
affectant le valeur du rayon d'implantation des directrices, dans le but de pou-
voir modifier l'angle des filets fluides au bord de fuite des directrices

[Suite sur la page suivante]



Publiée :

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

— avec revendications modifiées (art. 19.1))

et le débit de fluide à l'entrée de la roue de la turbomachine. Une loi de conjugaison tridimensionnelle permet de piloter l'asservissement du rayon d'implantation des directrices en fonction de la consigne d'ouverture des directrices et de la valeur de la chute, en vue d'élargir la caractéristique de rendement en fonction du débit, de stabiliser le fonctionnement à charge partielle, et de retarder l'apparition de cavitation sur les aubages de la roue de la turbomachine.

Distributeur mobile à deux degrés de liberté

GENERALITES ET DOMAINE TECHNIQUE :

5

La présente invention est relative à une turbomachine visant à convertir l'énergie d'un fluide sous pression et en mouvement en une énergie mécanique disponible sur un arbre animé d'une vitesse de rotation et susceptible de transmettre un couple.

Parmi les turbomachines concernées, on ne considère que les turbines de type Francis et

10 les turbines-pompes radiales pour l'application de l'invention.

L'invention concerne l'ajout d'un degré de liberté au mouvement des directrices de leur distributeur mobile.

15

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE :

Les turbines Francis ou les turbines pompes radiales sont des machines hydrauliques dans lesquelles le débit du fluide moteur est contrôlé par un équipement spécialisé appelé

20 distributeur mobile. Ce distributeur mobile à un degré de liberté est constitué d'une série de directrices mobiles en rotation selon leur axe principal et arrangées circulairement et régulièrement dans l'espace situé entre la sortie des aubages fixes de l'avant-distributeur et l'entrée de la roue de turbomachine. Les directrices **22 Fig 2a** sont interconnectées par l'intermédiaire de leviers fixes **24** et articulés **23** faisant la liaison avec cercle de vannage25 **20**, de manière à ce que l'angle d'ouverture soit identique pour toutes les directrices. Un système de servomoteurs hydrauliques associé à une boucle d'asservissement en position permet de positionner toutes les directrices selon les besoins de l'exploitation. Ainsi à l'arrêt de la turbomachine, toutes les directrices sont fermées **Fig 2b** et le fluide ne peut s'écouler. En production, l'angle d'ouverture des directrices est tel qu'il permet au fluide de
30 s'écouler de manière à produire la puissance ou le débit de fluide recherchés. Dans le principe de fonctionnement du distributeur, il faut décomposer deux principales actions lorsque la turbomachine est en production:

- 35
- La limitation du débit du fluide qui résulte de l'espace disponible entre directrices connexes pour un angle d'ouverture β **31** donné, espace qui peut être caractérisé par le diamètre du cylindre le plus grand pouvant passer entre deux directrices connexes **32 Fig 3a**; la valeur du rayon R_d **27** d'implantation des directrices est déterminée au stade de la conception de la turbomachine.

- L'angle d'orientation du fluide quittant le bord de fuite des directrices, soit celui du vecteur vitesse V_0 **33**, orientation qui est déterminante pour l'obtention du couple hydraulique maximum pour un débit de fluide donné tout en évitant les chocs au point d'arrêt de l'écoulement du fluide sur le bord d'attaque de l'aubage de la roue de la turbomachine.

Comme le mouvement des directrices n'a qu'un seul et unique degré de liberté, la rotation selon l'axe principal de chaque directrice, force est de constater que l'action de limitation du débit du fluide et l'orientation du fluide quittant le bord de fuite sont physiquement étroitement liés. Il n'est donc pas possible de modifier l'orientation du fluide quittant le bord de fuite sans modifier le débit de fluide et vice versa.

En conséquence, il n'est pas possible d'effectuer en fonctionnement une maximisation du rendement hydraulique ou de la puissance de la turbomachine par recherche de l'optimum de l'orientation du fluide quittant le bord de fuite des directrices en fonction de la chute présente, tout en maintenant constant le débit du fluide turbiné.

On peut aussi penser qu'à charge partielle, c'est à dire en dessous de 70% d'ouverture du distributeur mobile à un degré de liberté, l'orientation du fluide quittant le bord de fuite des directrices s'écarte significativement de l'angle optimum pour le débit souhaité, et que ceci contribue pour une part à l'apparition de phénomènes hydrauliques perturbateurs tels que des tourbillons locaux ou des phénomènes de cavitation locale sur les aubages de la roue de la turbomachine.

Il ressort de l'exposé, que l'utilisation actuelle de turbomachines équipés de distributeurs mobiles à un degré de liberté ne permet pas d'atteindre le meilleur rendement en dehors de la zone nominale X_2 **Fig 4a** pour laquelle la machine a été conçue.

Finalement, il existe une réelle difficulté technique à introduire des modifications mécaniques à un distributeur mobile, dans une zone des turbomachines où la pression du fluide est élevée, ce qui pourrait occasionner des fuites de fluide ou un manque de rigidité mécanique.

EXPOSE DE L'INVENTION :

Grâce à l'ajout d'un nouveau degré de liberté au mouvement du distributeur mobile, le but de l'invention est d'étendre les plages de fonctionnement à rendement hydraulique

75 maximum et aussi d'améliorer l'utilisation à charge partielle des turbines Francis ou turbines pompes radiales.

Ainsi on pourra disposer d'un moyen de contrôle du débit de fluide utilisé par la turbomachine et d'un autre moyen de variation de l'orientation du fluide quittant le bord de fuite des directrices. Une stratégie de commande utilisant une loi de conjugaison entre les
80 paramètres des deux degrés de liberté permet d'obtenir pour toutes les chutes, une commande optimale de la turbomachine.

Le nouveau degré de liberté est créé par un dispositif permettant de faire varier dynamiquement le rayon R_d 27 d'implantation des directrices. En effet, à angle d'ouverture
85 31 de directrices constant, une variation de 5% du rayon R_d 27 d'implantation des directrices comme montré en Fig 3c donne une variation de même signe du débit de l'ordre de 10%. L'amplitude de la variation de débit recherchée doit permettre de limiter l'impact des modifications apportées à la turbomachine tout en apportant un résultat économiquement favorable. La longueur des directrices et leur espace environnant doivent
90 être étudiés et adaptés en conséquence pour éviter les interférences avec les autres composants, ainsi qu'un moyen d'asservissement du rayon R_d 27 d'implantation du distributeur mobile à deux degrés de liberté.

Les calculs d'écoulement du fluide et les essais du modèle de la turbomachine équipée
95 d'un distributeur mobile à deux degrés de liberté permettent d'établir, en plus des habituelles caractéristiques de rendement hydraulique en fonction de l'angle d'ouverture de directrices et de la chute, de nouvelles caractéristiques donnant la valeur du rendement hydraulique de la turbomachine en fonction de la valeur du rayon d'implantation R_d 27 du distributeur mobile, de l'angle d'ouverture β 31 des directrices et de la chute.

100

Le but de l'invention est aussi de permettre une optimisation de l'ouverture des directrices en fonction de la chute, à débit constant. L'angle d'orientation du fluide quittant le bord de fuite des directrices, soit celui du vecteur vitesse V_0 33 est dépendant de la valeur de la chute disponible.

105

L'implémentation de l'invention doit être applicable non seulement pour des turbomachines neuves, mais aussi en modernisation de turbomachines existantes.

Le but de l'invention est aussi de permettre une adaptation des caractéristiques des
110 turbines-pompes dans leur mode de fonctionnement en pompe, comme l'amélioration de la

stabilité (courbe en S) ou simplement du rendement hydraulique. En effet, en mode pompe et à vitesse de rotation constante, ces turbomachines ne disposent pratiquement pas de possibilité de réglage du débit du fluide sans détérioration du rendement hydraulique.

115

DESCRIPTION SOMMAIRE DES DESSINS :

Fig 1 : La directrice mobile **1** est guidée en rotation dans le palier excentré mobile supérieur **2** et le palier excentré mobile inférieur **3** par l'intermédiaire de paliers-butées autolubrifiants **9** et **10**. Les paliers excentrés mobiles **2** et **3** sont eux-même mobiles en rotation et logées dans deux alésages cylindriques des plaques d'usure **5** et **4** équipés de paliers-butées autolubrifiants **11** et **12**. Un levier de commande **6** permet de commander la rotation de la directrice **1** par l'intermédiaire d'une clavette **13**. Les paliers **2** et **3** sont commandés par l'intermédiaire des bielles **7** et **8** et des paliers autolubrifiants **14** et **15** montés dans la tête des bielles **7** et **8**, l'ensemble fonctionnant sur le principe bielle-manivelle.

Fig 2a : Vue partielle d'un distributeur mobile à un degré de liberté. Une directrice **22** implantée sur un cercle **27** de rayon fixe est reliée à un levier **24** équipé d'un limiteur de couple à rupture de doigt **25** et à friction **26** par action sur le tourillon de directrice **21**. Une bielle **23** permet de relier le levier de commande **24** au cercle vannage **20**. La vue partielle montre un distributeur en position ouverte.

Fig 2b : Vue partielle d'un distributeur mobile à un degré de liberté en position fermée.

Fig 2c : Cinématique d'un distributeur mobile à un degré de liberté. L'angle de rotation φ permet de repérer la rotation angulaire du cercle de vannage **20 Fig 2a** de rayon R_2 et l'angle α donne une mesure de la position angulaire du levier **24 Fig 2a** de longueur a_1 . Le levier **23 Fig 2a** est représenté par le segment BA **29** de longueur b_1 . Le rayon du cercle d'implantation des directrices **27** est caractérisé par R_d .

Fig 3a : Angle β d'ouverture **31** des directrices mobiles, c'est à dire l'angle formé entre la tangente au cercle d'implantation des directrices et la direction principale de l'aubage de la directrice, et diamètre Dia_1 **32** de passage offert au fluide entre deux directrices connexes.

L'orientation des filets de fluide sur le bord de fuite des directrices détermine l'orientation du vecteur vitesse V_0 33 du fluide sur le bord d'attaque des aubages de la roue de la turbomachine, et ce vecteur peut se décomposer en une composante U_0 tangente à la roue de la turbomachine et une composante W_0 tangente au profil de l'aubage de la roue.

150 Le rayon R_d du cercle 27 d'implantation des directrices joue un rôle important sur les paramètres β et Dia_1 .

Fig 3b : Valeur augmentée du diamètre Dia_1 34 obtenue par une augmentation de la valeur du rayon R_d du cercle d'implantation des directrices et influence sur le module du vecteur

155 vitesse V_0 .

Fig 3c : Allure de la relation entre l'angle β d'ouverture des directrices et la valeur du diamètre de passage Dia_1 offert au fluide entre deux directrices connexes. A angle β constant, la courbe 35 pour un rayon R_d 350 donne une valeur du diamètre Dia_1

160 relativement supérieure à celle obtenue par la courbe 36 pour un rayon R_d 315.

Fig 4a : Allure de la relation typique entre le rendement hydraulique η 43 d'une turbomachine et le débit du fluide 42. Dans une turbomachine à distributeur mobile à un seul degré de liberté, la caractéristique 40 est de forme plutôt pointue et la zone X_2 des
165 meilleurs rendements restreinte entre Q_2 et Q_3 . Le distributeur mobile à deux degrés de liberté permet d'obtenir la caractéristique 41 grâce à un élargissement de la plage de débit X_1 de Q_1 à Q_4 .

Les courbes caractéristiques 44 et 45 sont obtenues à angle d'ouverture de distributeur constante.

170

Fig 4b : Vue en perspective d'une directrice 1 de distributeur mobile à deux degrés de liberté équipée du palier excentré mobile supérieur 2 et du palier excentré mobile inférieur 3. Le levier 6 permet de commander l'angle d'ouverture de la directrice, et les bielles
175 synchronisées 7 et 8 permettent de faire varier l'angle de positionnement des paliers excentrés 2 et 3, et en conséquence le rayon du cercle d'implantation des directrices.

Fig 5a : Distributeur mobile à deux degrés de liberté et rotation médiane des paliers excentrés. La bielle 7 reliée au cercle de commande supérieur 53 permet de faire varier

180 l'angle de rotation du palier excentré mobile supérieur **2**. Un dispositif similaire équipe les paliers excentrés mobiles inférieurs.

Fig 5b : Distributeur mobile à deux degrés de liberté et rotation maximum des paliers excentrés donnant un diamètre d'implantation des directrices maximum.

185

Fig 5c : Cinématique d'un distributeur mobile à deux degrés de liberté. En plus des éléments de **Fig 2c**, on doit considérer l'excentricité **e 50** du palier excentré mobile qui donne un lieu de l'axe principal de la directrice situé sur un arc de cercle **51** de centre **0''** et de rayon **e**.

190

Fig 6a : Principe de la commande d'un distributeur mobile à deux degrés de liberté. Le régulateur **60** calcule une consigne d'ouverture du distributeur mobile φ en fonction de différents états (consigne et mesure de vitesse de rotation ou de fréquence **69**, mesure de puissance **70**, consigne de puissance, mesure de débit **71**, consigne de débit, limitation d'ouverture, statisme permanent, etc..). En fonction de l'angle de rotation θ **72** des paliers excentrés, une compensation φ' est calculée par **62** et ajoutée à la consigne φ . Le positionneur **61** pilote les servomoteurs **66** de manière à positionner le cercle de vannage à un angle $\varphi + \varphi'$.

La consigne φ est injectée dans la came de conjugaison tridimensionnelle **63** avec la chute **h 73**, de manière à élaborer la consigne optimale de l'angle de rotation θ **72** des paliers excentrés mobiles, Un asservissement **64** pilote les servomoteurs supérieurs **67** et les servomoteurs inférieurs **68** de manière à réaliser de manière synchrone l'angle θ .

Fig 6b : Allure d'une loi de conjugaison **77** entre l'angle de rotation du cercle de φ vannage et l'angle de rotation θ des paliers excentrés occasionnant trois rayons d'implantation du distributeur **74, 75, 76**, et donnant la valeur de l'angle d'ouverture optimal β pour une chute donnée h.

Fig 7a : Variante de palier mobile de directrice à déplacement linéaire utilisant une semelle **82** coulissant linéairement dans une rainure **85** usinée dans les plaques d'usure de manière à procurer un changement de valeur de rayon d'implantation des directrices. Le lieu de position de l'axe de la directrice est situé sur l'axe **80**.

Fig 7b : Détail de la variante de palier mobile de directrice à déplacement linéaire montrant

215 le palier supérieur **82** équipé d'une liaison **87** vers l'asservissement de position et le palier inférieur **83** équipé d'une liaison **88** vers l'asservissement de position.

220 **MEILLEURE MANIERE DE REALISER L'INVENTION** :

Le remplacement du système de paliers simples de directrices par un système de paliers excentrés mobiles **2** et **3** **Fig 1** offre d'une part la possibilité de conserver le contrôle traditionnel de l'angle d'ouverture β **31** des directrices par action du système de

225 servomoteurs **66** et du cercle de vannage **20** sur les leviers **23** et **24**, et d'autre part le contrôle du rayon **27** d'implantation des directrices par un asservissement de l'angle θ de rotation des paliers excentrés **2** et **3** entre deux valeurs extrêmes à 180° en agissant sur les bielles intermédiaires **7** et **8**, permettant aussi d'obtenir toute valeur intermédiaire de rayon d'implantation de directrices à l'intérieur de l'intervalle des valeurs extrêmes.

230 Le palier excentré supérieur **2** et le palier excentré inférieur **3** sont implantés dans des alésages cylindriques pratiqués dans les plaques d'usure **5** et **4**, et la synchronisation des rotations du palier excentré supérieur **2** et du palier excentré inférieur **3** est réalisée par une fonction de l'asservissement **64** **Fig 6a** de position angulaire de ces paliers. Les angles de rotation des paliers excentrés **2** et **3** sont toujours identiques et synchronisés, afin d'éviter

235 un coincement des directrices au cas où ou les axes de rotation des paliers excentrés **2** et **3** ne seraient plus coaxiaux.

Les paliers excentrés de toutes les directrices de la turbomachine sont mécaniquement synchronisés entre eux, car l'autre extrémité des bielles supérieures est solidaire d'un cercle de commande supérieur **53** et l'autre extrémité des bielles inférieures est solidaire

240 d'un cercle de commande inférieur, chaque cercle étant piloté par un système de servomoteurs **67** et **68**.

Le principe de contrôle de l'angle d'ouverture des directrices reste similaire à celui du distributeur mobile à un degré de liberté, mais il faut intégrer dans la commande de rotation

245 angulaire φ du cercle de vannage **20** un terme de découplage φ' provenant de l'angle de rotation θ des paliers excentrés. En effet, le mécanisme bielle-manivelle **23** et **24** qui relie chaque directrice au cercle de vannage **20** est influencé par le changement de valeur du

rayon d'implantation **27** des directrices lorsque l'angle de rotation θ des paliers excentrés est modifié. Il est nécessaire d'introduire un terme correcteur dans l'asservissement de

250 l'angle d'ouverture des directrices, terme fonction de l'angle de rotation θ des paliers excentrés et de la consigne de l'angle de rotation φ du cercle de vannage **20**.

La relation liant φ , θ , α est obtenue en projetant les composantes des éléments de la cinématique de la figure **Fig 5c** sur un axe vertical et sur un axe horizontal. On obtient l'expression suivante:

255
$$R_d - e - a_1 * \cos(\alpha) = R_2 * \cos(\varphi) + b_1 * \cos(\arcsin \frac{(R_2 * \sin(\varphi) - e * \cos(\theta) + a_1 * \sin(\alpha))}{b_1}) + e * \sin(\theta)$$

Cette expression peut être résolue en temps réel ou à l'avance sous forme d'une table d'interpolation et ensuite programmée à l'intérieur du bloc **62**. L'angle d'ouverture β des directrices se déduit de l'angle α avec l'expression suivante :

$$\beta = -\alpha + \beta_0$$

260 On obtient ainsi une commande découplée des deux degrés de liberté β (φ) et θ du distributeur mobile, c'est à dire qu'une rotation θ des paliers excentrés mobiles **2** et **3** occasionnera une correction automatique de l'angle de rotation φ du cercle de vannage **20** et en conséquence l'angle d'ouverture β restera constant.

265 Du point de vue du comportement dynamique, les manoeuvres principales d'ouverture et de fermeture restent assurées par la commande traditionnelle des directrices soit le cercle de vannage **20**, et les manoeuvres des paliers excentrés mobiles ne nécessitent pas une telle dynamique, et en conséquence on peut utiliser des actionneurs **67** et **68** de puissance réduite pour piloter le cercle de commande supérieur **53** et le cercle de commande
270 inférieur .

L'exploitation de la turbomachine équipée d'un distributeur mobile à deux degrés de liberté peut se faire en utilisant une loi tridimensionnelle de conjugaison entre l'angle d'ouverture des directrices β et l'angle de rotation des palier excentrés θ , pour une chute h , comme

275 représenté en **Fig 6b**. La courbe **77** montre la transition entre deux rayons d'implantation de distributeur extrêmes, dont les paramètres sont issus des essais modèle de la turbomachine. Pour des valeurs de débit de fluide **42** supérieures à celle donnant le maximum de rendement $\eta_{\max}$ **Fig 4a** pour une chute h donnée, il convient de réduire l'angle d'ouverture β du distributeur et simultanément d'augmenter le rayon R_d

280 d'implantation du distributeur par un changement de l'angle de rotation θ des paliers

excentrés. Inversement pour des valeurs de débit de fluide **42** inférieures à celle donnant le maximum de rendement $\eta_{\max}$ **Fig 4a** pour une chute h donnée, il convient de d'augmenter l'angle d'ouverture β du distributeur et simultanément de réduire le rayon R_d d'implantation du distributeur par une diminution de l'angle de rotation θ des paliers excentrés.

Il est aussi possible d'explorer le domaine de transition sur la machine en production. Ainsi, pour un débit de fluide donné et pour une chute donnée, on fixe le rayon R_d **27** d'implantation du distributeur mobile en fixant l'angle de rotation θ des paliers excentrés, et on fait varier l'angle d'ouverture des directrices β **31** dans un domaine et on note la valeur de β qui donne soit la puissance électrique maximum, soit le rendement maximum. Cette méthode s'apparente à la méthode à hélice bloquée qui est utilisée pour les turbines Kaplan ou bulbes, mais elle est nouvelle ici pour les turbomachines Francis ou Turbines-pompes radiales équipées de distributeur mobile à deux degrés de liberté.

On peut aussi procéder en bloquant l'angle d'ouverture des directrices β **31** à une valeur donnée et on fait varier la valeur du rayon d'implantation R_d **27** du distributeur par action sur l'angle de rotation θ des paliers excentrés **2** et **3**. On obtient des courbes **44, 45 Fig 4a** qui montrent une amélioration du rendement (ou de la puissance) en fonction de l'angle de rotation des paliers excentrés **2** et **3**. Une fois l'analyse du lieu de l'optimum réalisée, le système de commande de la machine positionne l'ouverture du distributeur et le rayon d'implantation du distributeur sur la meilleure position, pour une chute donnée.

AUTRES MANIERES DE REALISER L'INVENTION :

Un seul système de servomoteurs pour les cercles de commande supérieur et inférieur apporte une synchronisation mécanique des deux cercles de commande, dans la mesure où il est possible d'amener le mouvement par un jeu de leviers.

Une autre manière de réaliser la commande de rotation angulaire des paliers excentrés est d'utiliser un servomoteur électrique ou hydraulique individuel à chaque directrice.

Dans certains cas simples, où les plages de fonctionnement de la turbomachine sont fonctionnellement réduites et que la chute a un effet prédominant sur le rendement

hydraulique de la turbomachine, il est possible de positionner l'angle optimal de rotation des paliers excentrés 2 et 3 à l'arrêt de la turbomachine et de verrouiller mécaniquement cette position mécaniquement pour l'exploitation.

320 **REVENDEICATIONS :**

1. Turbomachine pour la production d'énergie mécanique sur un arbre tournant à partir d'un fluide en mouvement et sous pression, incluant :

- une bache spirale équipée d'un avant-distributeur à pluralité d'aubages fixes, d'une roue
325 de turbomachine équipée d'une pluralité d'aubages et reliée mécaniquement à l'arbre turbomachine, d'un palier guide et butée, de joints d'étanchéité, d'un aspirateur en sortie de turbomachine ;
- Un distributeur comprenant une pluralité de directrices mobiles en rotation selon leur axe et équipées de dispositifs de freinage angulaire, de dispositifs de limitation de
330 couple, de dispositifs d'étanchéité, de paliers et butées auto-lubrifiants;
- Un dispositif d'asservissement de l'angle d'ouverture des directrices;
- un dispositif assurant la transmission de la puissance mécanique produite au dispositif de charge relié à l'arbre turbomachine;
- un équipement de contrôle-commande, des protections et auxiliaires permettant de
335 coordonner le fonctionnement de tous les composants de la turbomachine;

et caractérisée par :

- Un distributeur équipé d'un moyen permettant, pendant le fonctionnement de la turbomachine ou à l'arrêt, de faire varier le rayon d'implantation des directrices mobiles
340 dans le but de faire varier le débit de fluide le traversant à l'aide d'un moyen de commande découplée de l'angle d'ouverture des directrices et de rechercher et/ou sélectionner automatiquement la combinaison d'angle d'ouverture des directrices et de débit de fluide qui produit la plus grande valeur de rendement hydraulique quelle que soit la valeur de la chute disponible.

345

2. Turbomachine selon 1 pour laquelle le moyen de commande découplée de l'angle d'ouverture des directrices est un algorithme de calcul basé sur la cinématique du distributeur dont l'effet automatique est de maintenir constant l'angle d'ouverture des directrices lorsque le rayon d'implantation des directrices mobiles est modifié.

350

3. Turbomachine selon 1 pour laquelle le moyen permettant de faire varier le débit de fluide traversant le distributeur indépendamment de l'angle d'ouverture des directrices est un système de paliers excentrés étanches et asservis en rotation par un moyen motorisé, guidés dans des alésages cylindriques équipés de paliers butée auto-lubrifiants et de joints
355 d'étanchéité, mis en place dans les plaques d'usure supérieure et inférieure.

4. Turbomachine selon 3 pour laquelle le moyen motorisé permettant d'asservir la rotation des paliers excentrés est un système de servomoteurs hydrauliques ou électriques agissant sur un cercle de commande supérieur et un cercle de commande inférieur, eux-mêmes agissant par l'intermédiaire de bielles équipées de paliers autolubrifiants sur l'axe des directrices selon le principe de mouvement bielle-manivelle, la rotation angulaire des cercles supérieurs et inférieurs étant synchronisée par l'intermédiaire de l'asservissement des servomoteurs.
5. Turbomachine selon 3 pour laquelle le moyen motorisé permettant d'asservir la rotation des paliers excentrés est un système de servomoteurs individuels hydrauliques ou électriques agissant sur l'axe des directrices selon le principe de mouvement bielle-manivelle, la rotation angulaire des directrices étant synchronisée par l'intermédiaire de l'asservissement des servomoteurs.
6. Turbomachine selon 3 pour laquelle le moyen motorisé permettant d'asservir la rotation des paliers excentrés est un système de servomoteurs hydrauliques ou électriques agissant de manière commune sur un cercle de commande supérieur et un cercle de commande inférieur, eux-mêmes agissant par l'intermédiaire de bielles équipées de paliers autolubrifiants sur l'axe des directrices.
7. Turbomachine selon 3 pour laquelle le moyen motorisé permettant d'asservir la rotation des paliers excentrés est un système de verrouillage mécanique permettant de figer la valeur du rayon d'implantation du distributeur lors du fonctionnement.
8. Turbomachine selon 1 pour laquelle le moyen permettant de faire varier le débit de fluide traversant le distributeur indépendamment de l'angle d'ouverture des directrices est un système de paliers étanches coulissants et asservis en position par un moyen motorisé, guidés dans des rainures adaptées des plaques d'usure supérieure et inférieure.
9. Turbomachine selon 1 dont le type de turbine est soit Francis, soit turbine-pompe radiale en mode turbine et aussi en mode pompe.
10. Méthode de commande d'une turbomachine équipée d'un distributeur mobile à deux degrés de liberté par un moyen permettant d'une part d'établir à partir d'essais sur modèle réduit, de calculs de simulation, d'essais sur prototype, une loi de conjugaison tridimensionnelle combinant angle d'ouverture des directrices, rayon d'implantation des directrices, chute, dans le but de maximiser le rendement hydraulique de la turbomachine

dans son domaine de fonctionnement et d'autre part un moyen permettant d'utiliser la loi
395 de conjugaison tridimensionnelle obtenue pour la commande optimale de la turbomachine.

11. Méthode de commande selon 10 dans laquelle le moyen d'établir une loi de
conjugaison tridimensionnelle est une analyse de l'influence du rayon d'implantation des
directrices sur le rendement hydraulique ou la puissance fournie, influence mesurée en
400 même temps que les autres paramètres hydrauliques.

REVENDEICATIONS MODIFIÉES
reçues par le Bureau international le 05 septembre 2013 (05.09.13)

1. Turbomachine pour la production d'énergie mécanique sur un arbre tournant à partir d'un fluide en mouvement et sous pression, incluant :

- une bache spirale équipée d'un avant-distributeur à pluralité d'aubages fixes, d'une roue
325 de turbomachine équipée d'une pluralité d'aubages et reliée mécaniquement à l'arbre
turbomachine, d'un palier guide et butée, de joints d'étanchéité, d'un aspirateur en sortie
de turbomachine ;
- Un distributeur comprenant une pluralité de directrices mobiles en rotation selon leur
axe et équipées de dispositifs de freinage angulaire, de dispositifs de limitation de
330 couple, de dispositifs d'étanchéité, de paliers et butées auto-lubrifiants;
- Un dispositif d'asservissement de l'angle d'ouverture des directrices;
- un dispositif assurant la transmission de la puissance mécanique produite au dispositif
de charge relié à l'arbre turbomachine;
- un équipement de contrôle-commande, des protections et auxiliaires permettant de
335 coordonner le fonctionnement de tous les composants de la turbomachine;

et caractérisée par :

- Un distributeur équipé d'un système de paliers supérieurs excentrés mobiles en rotation
et de paliers excentrés inférieurs mobiles en rotation grâce auxquels les directrices
340 mobiles sont elles même guidées en rotation, permettant pendant le fonctionnement de
la turbomachine ou à l'arrêt, de faire varier le rayon d'implantation des directrices
mobiles dans le but de faire varier le débit de fluide le traversant à l'aide d'un moyen de
commande découplée de l'angle d'ouverture des directrices et de rechercher et/ou
sélectionner automatiquement la combinaison d'angle d'ouverture des directrices et de
345 débit de fluide qui produit la plus grande valeur de rendement hydraulique quelle que
soit la valeur de la chute disponible.

2. Turbomachine selon **1** pour laquelle le moyen de commande découplée de l'angle
d'ouverture des directrices est un algorithme de calcul basé sur la cinématique du
350 distributeur dont l'effet automatique est de maintenir constant l'angle d'ouverture des
directrices lorsque le rayon d'implantation des directrices mobiles est modifié.

3. Turbomachine selon **1** pour laquelle le système de paliers excentrés étanches est asservi
en rotation par un moyen motorisé, comprenant des alésages cylindriques équipés de
355 paliers butée auto-lubrifiants et de joints d'étanchéité, mis en place dans les plaques
d'usure supérieure et inférieure.

4. Turbomachine selon 3 pour laquelle le moyen motorisé permettant d'asservir la rotation des paliers excentrés est un système de servomoteurs hydrauliques ou électriques agissant
360 sur un cercle de commande supérieur et un cercle de commande inférieur, eux-mêmes agissant par l'intermédiaire de bielles équipées de paliers autolubrifiants sur l'axe des directrices selon le principe de mouvement bielle-manivelle, la rotation angulaire des cercles supérieurs et inférieurs étant synchronisée par l'intermédiaire de l'asservissement des servomoteurs.

365

5. Turbomachine selon 3 pour laquelle le moyen motorisé permettant d'asservir la rotation des paliers excentrés est un système de servomoteurs individuels hydrauliques ou électriques agissant sur l'axe des directrices selon le principe de mouvement bielle-manivelle, la rotation angulaire des directrices étant synchronisée par l'intermédiaire
370 de l'asservissement des servomoteurs.

6. Turbomachine selon 3 pour laquelle le moyen motorisé permettant d'asservir la rotation des paliers excentrés est un système de servomoteurs hydrauliques ou électriques agissant de manière commune sur un cercle de commande supérieur et un cercle de commande
375 inférieur, eux-mêmes agissant par l'intermédiaire de bielles équipées de paliers autolubrifiants sur l'axe des directrices.

7. Turbomachine selon 3 pour laquelle le moyen motorisé permettant d'asservir la rotation des paliers excentrés est un système de verrouillage mécanique permettant de figer la
380 valeur du rayon d'implantation du distributeur lors du fonctionnement.

8. Turbomachine selon 1 dont le type de turbine est soit Francis, soit turbine-pompe radiale en mode turbine et aussi en mode pompe.

385 9. Méthode de commande d'une turbomachine équipée d'un distributeur mobile à deux degrés de liberté par un moyen permettant d'une part d'établir à partir d'essais sur modèle réduit, de calculs de simulation, d'essais sur prototype, une loi de conjugaison tridimensionnelle combinant angle d'ouverture des directrices, rayon d'implantation des directrices, chute, dans le but de maximiser le rendement hydraulique de la turbomachine
390 dans son domaine de fonctionnement et d'autre part un moyen permettant d'utiliser la loi de conjugaison tridimensionnelle obtenue pour la commande optimale de la turbomachine.

10. Méthode de commande d'une turbomachine selon **1** dans laquelle le moyen d'établir une loi de conjugaison tridimensionnelle est une analyse de l'influence du rayon
395 d'implantation des directrices sur le rendement hydraulique ou la puissance fournie, influence mesurée en même temps que les autres paramètres hydrauliques.

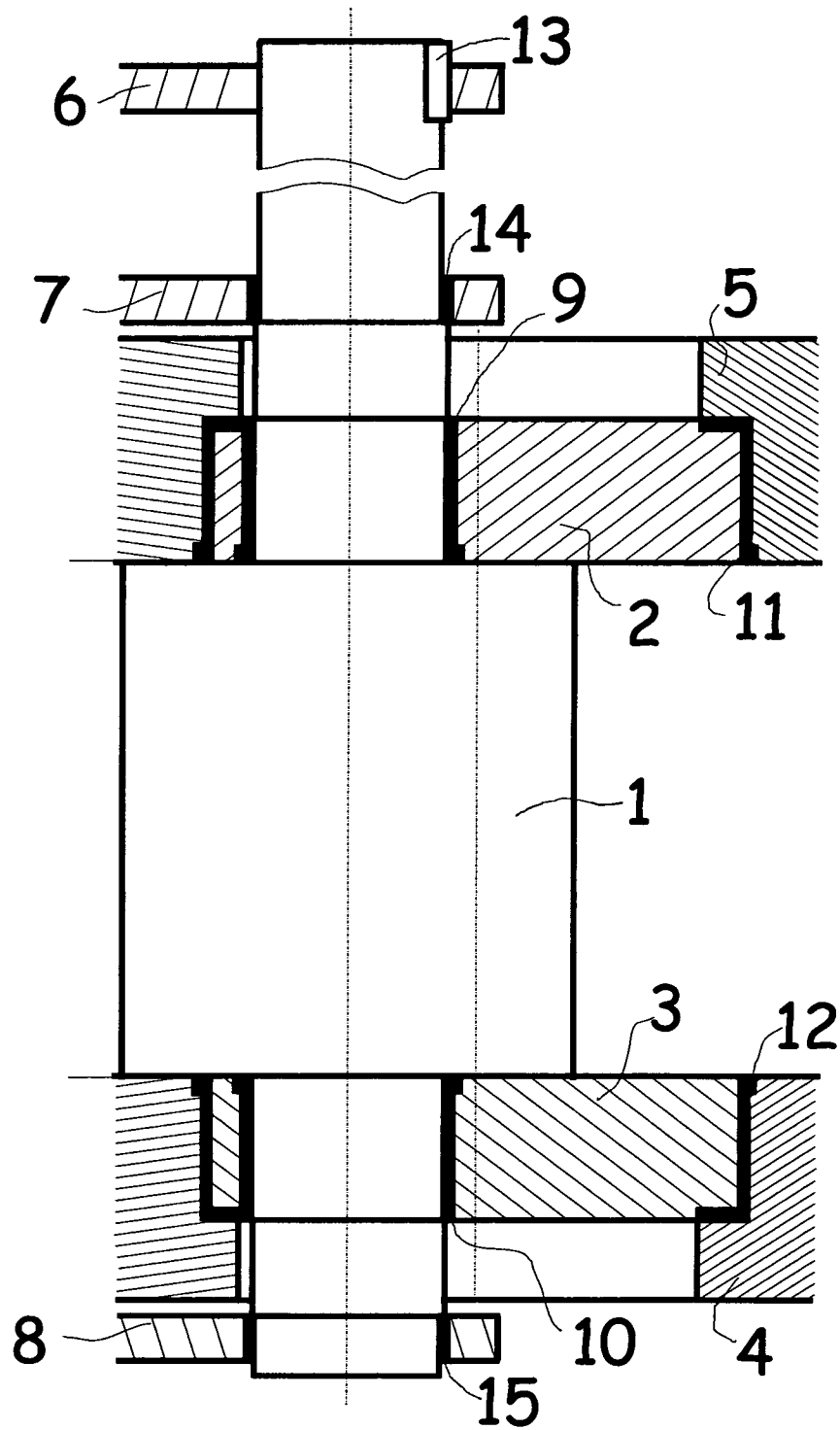


Fig 1

2/7

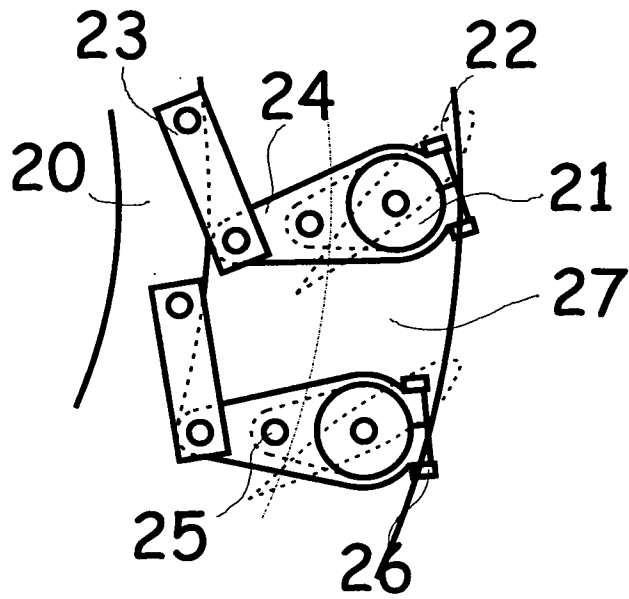


Fig 2a

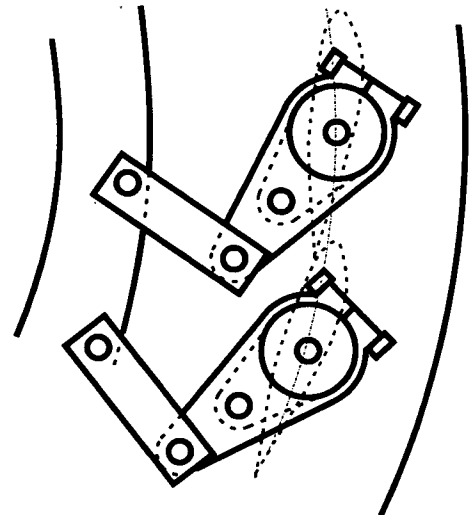


Fig 2b

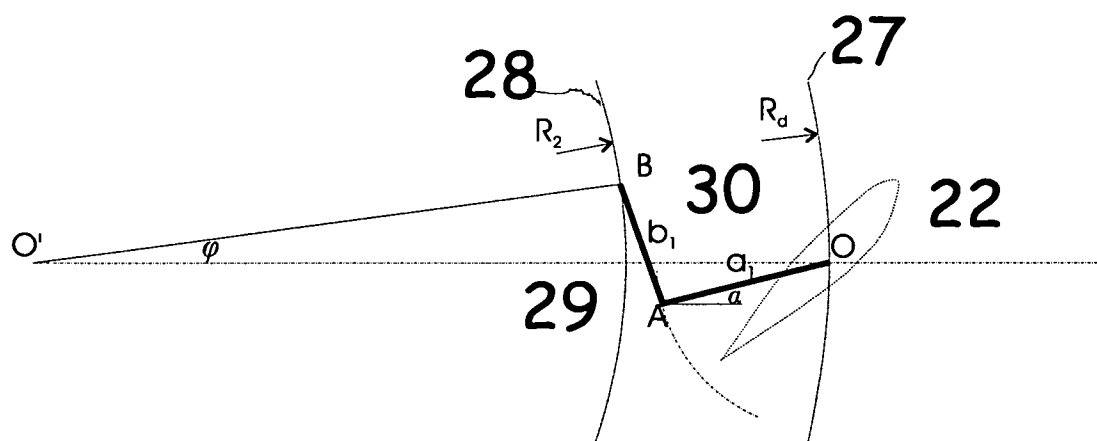


Fig 2c

3/7

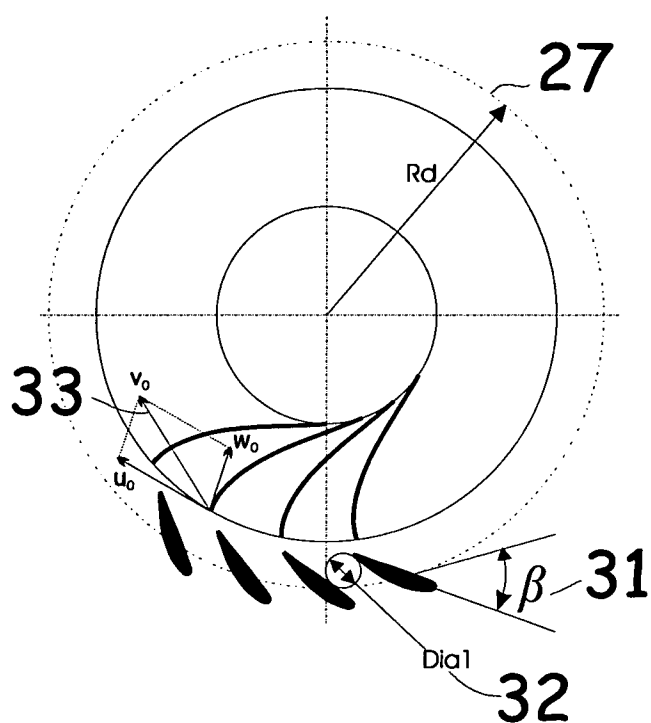


Fig 3a

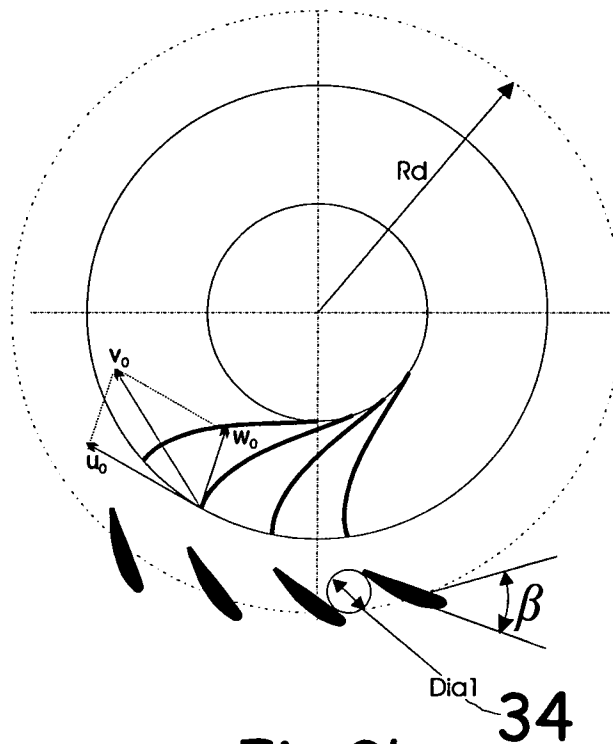


Fig 3b

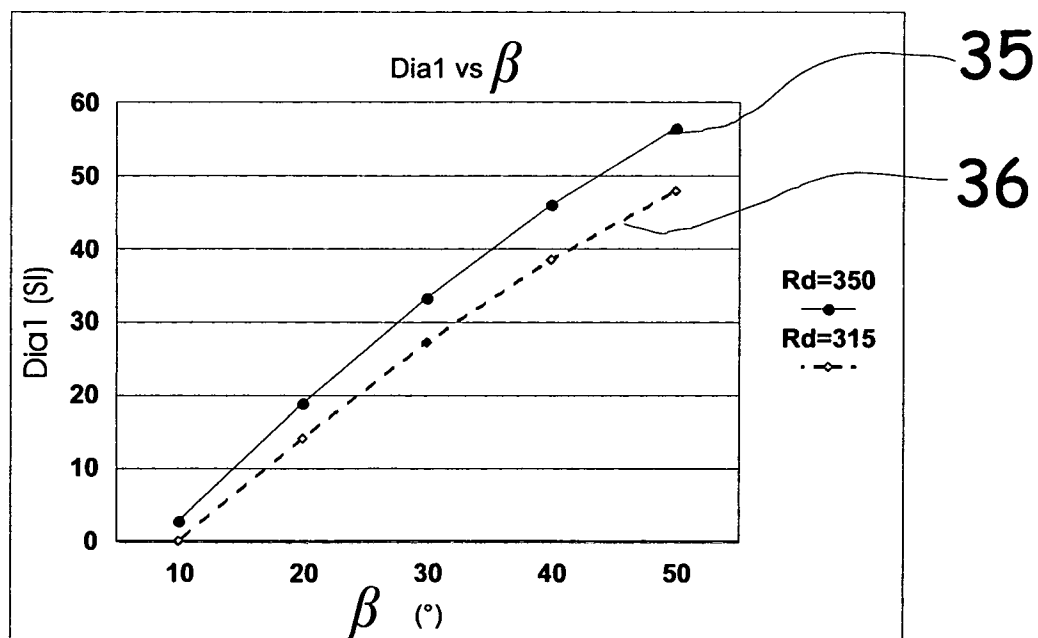


Fig 3c

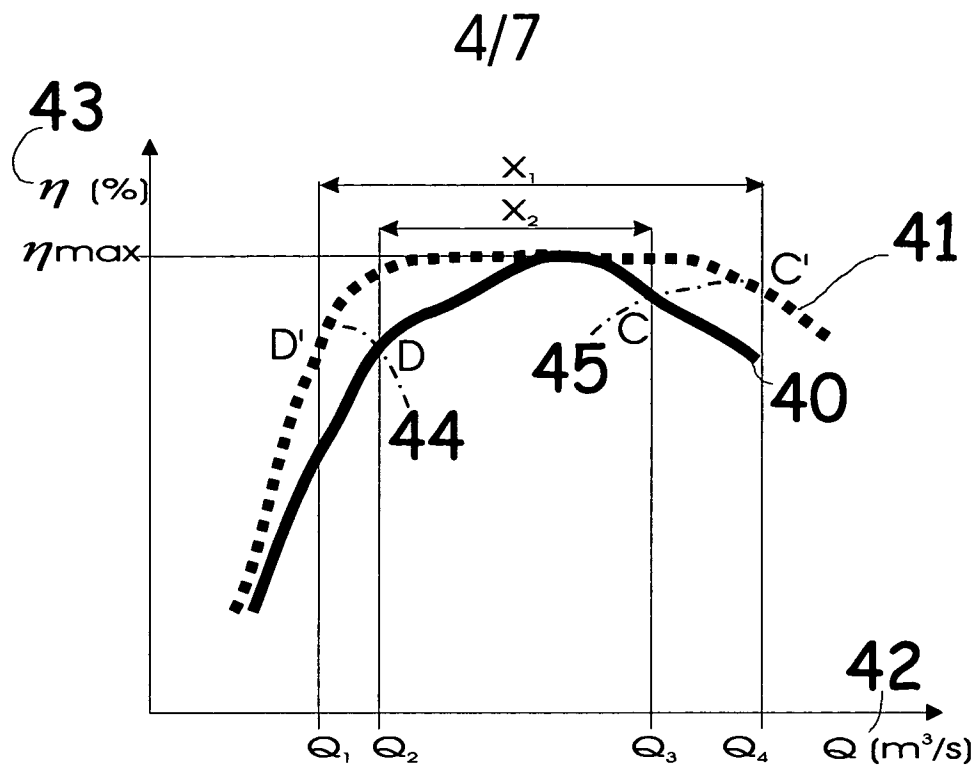


Fig 4a

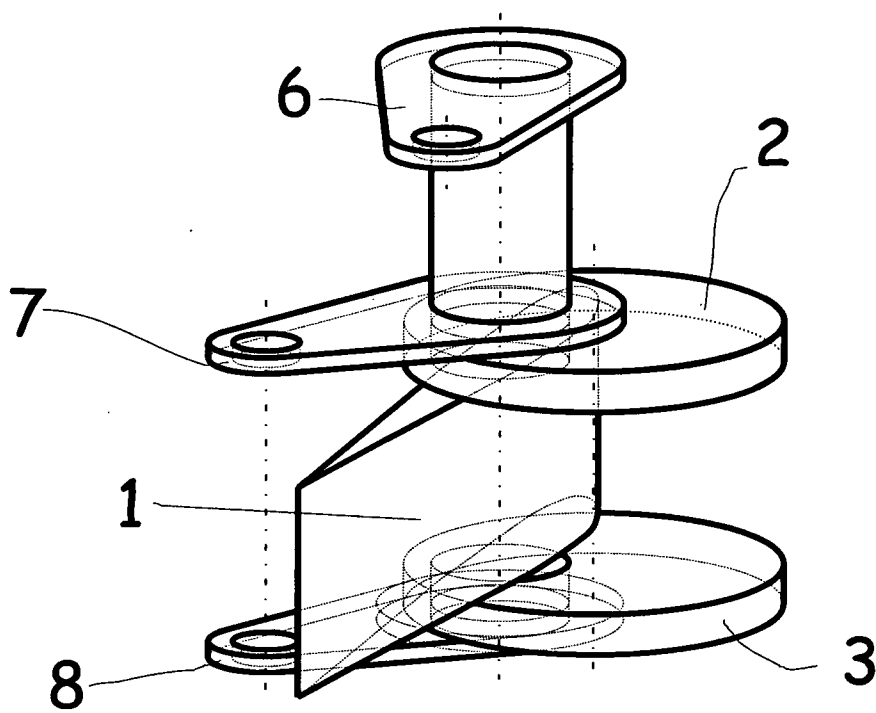


Fig 4b

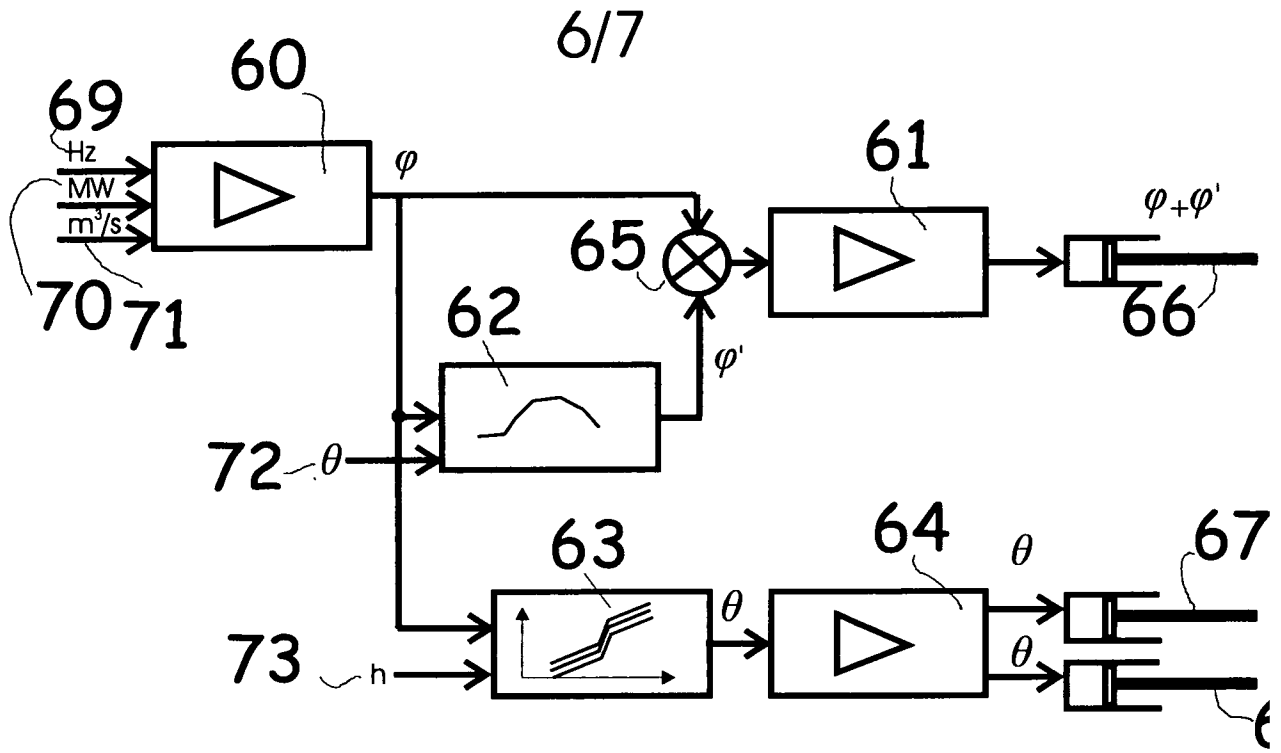


Fig 6a

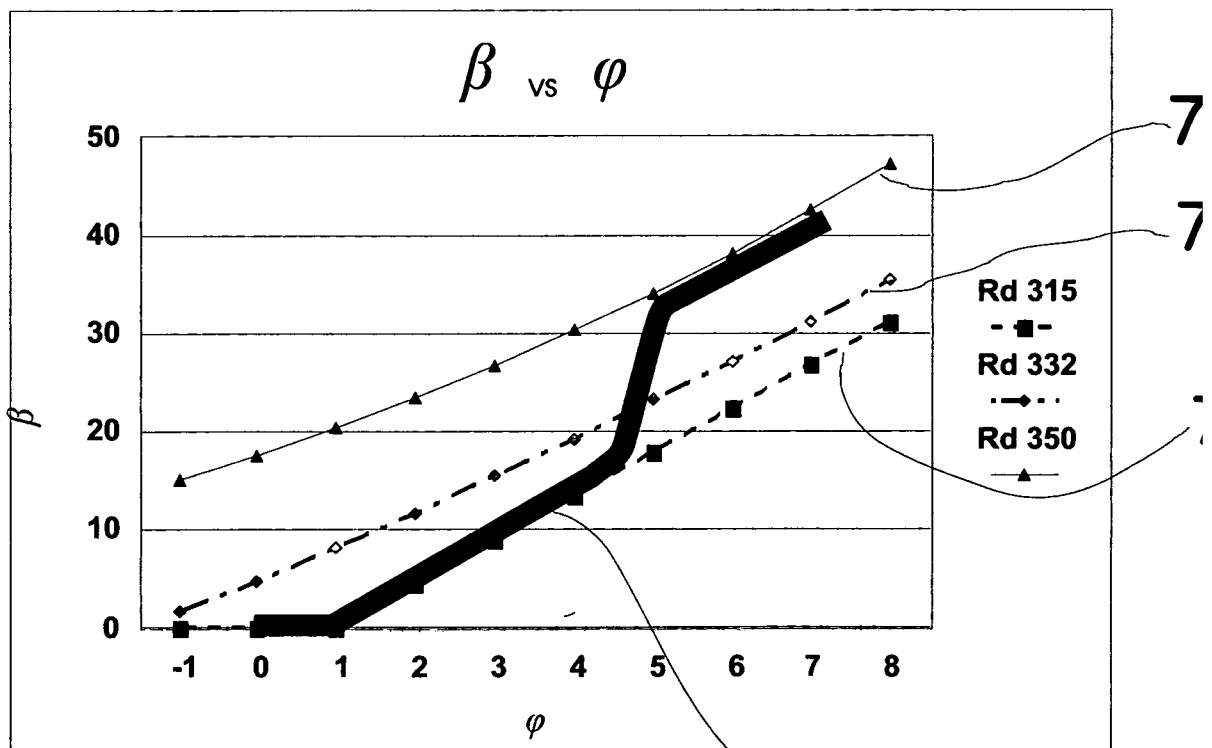


Fig 6b

77

7/7

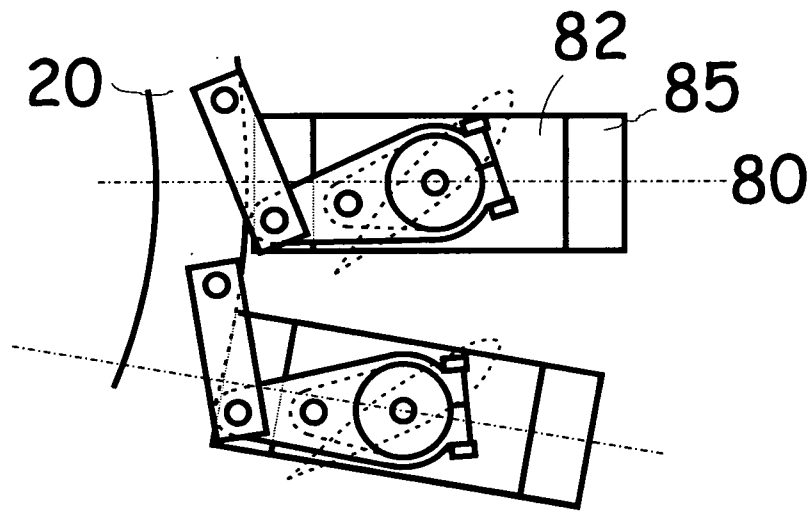


Fig 7a

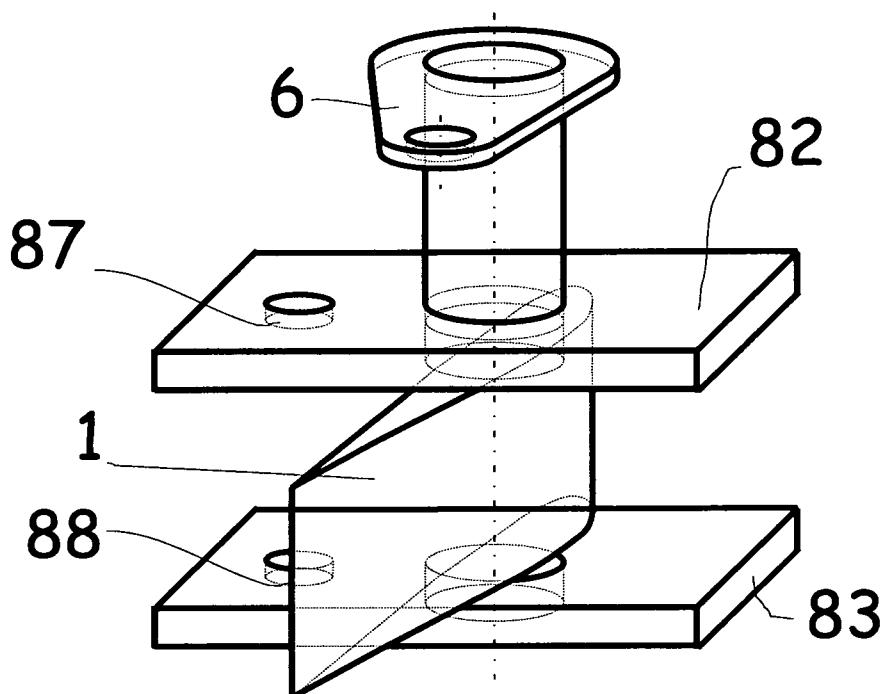


Fig 7b

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/002368

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. F03B3/02 F03B3/18 F03B15/14
ADD.

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F03B

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, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102 13 774 A1 (VOITH SIEMENS HYDRO POWER [DE]) 23 October 2003 (2003-10-23) paragraphs [0002], [0003] paragraph [0011] - paragraph [0016] paragraph [0029] - paragraph [0036] abstract; claims 1,6; figures 1,3,4 -----	1,2,8-11
A	GB 578 034 A (WILLIAM WARREN TRIGGS) 12 June 1946 (1946-06-12) the whole document -----	1-6,9,10
A	US 5 402 332 A (KOPF EBERHARD [DE]) 28 March 1995 (1995-03-28) column 1, line 8 - line 22 column 2, line 45 - column 3, line 13 abstract; figure 1 ----- -/-	1,10,11



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

5 February 2013

Date of mailing of the international search report

14/02/2013

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

O'Shea, Gearóid

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/002368

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2007 113554 A (TOSHIBA CORP) 10 May 2007 (2007-05-10) abstract; figures -----	1,3,9,10
A	DE 12 56 170 B (VOITH GMBH J M) 7 December 1967 (1967-12-07) column 1, line 14 - line 26 column 1, line 50 - column 2, line 24 column 4, line 19 - line 51 figures -----	1,10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2012/002368

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 10213774	A1	23-10-2003	DE 10213774 A1
			WO 03081027 A1
			23-10-2003
			02-10-2003
GB 578034	A	12-06-1946	NONE
US 5402332	A	28-03-1995	AT 403722 B
			CN 1092847 A
			DE 4220255 C1
			ES 2076863 A2
			IT 1260854 B
			US 5402332 A
			25-05-1998
			28-09-1994
			23-12-1993
			01-11-1995
			23-04-1996
			28-03-1995
JP 2007113554	A	10-05-2007	JP 4776333 B2
			JP 2007113554 A
			21-09-2011
			10-05-2007
DE 1256170	B	07-12-1967	NONE

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2012/002368

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. F03B3/02 F03B3/18 F03B15/14 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) F03B		
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, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	DE 102 13 774 A1 (VOITH SIEMENS HYDRO POWER [DE]) 23 octobre 2003 (2003-10-23) alinéas [0002], [0003] alinéa [0011] - alinéa [0016] alinéa [0029] - alinéa [0036] abrégé; revendications 1,6; figures 1,3,4 -----	1,2,8-11
A	GB 578 034 A (WILLIAM WARREN TRIGGS) 12 juin 1946 (1946-06-12) le document en entier -----	1-6,9,10
A	US 5 402 332 A (KOPF EBERHARD [DE]) 28 mars 1995 (1995-03-28) colonne 1, ligne 8 - ligne 22 colonne 2, ligne 45 - colonne 3, ligne 13 abrégé; figure 1 -----	1,10,11
-/-		
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale	
5 février 2013	14/02/2013	
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 O'Shea, Gearóid

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 2007 113554 A (TOSHIBA CORP) 10 mai 2007 (2007-05-10) abrégé; figures -----	1,3,9,10
A	DE 12 56 170 B (VOITH GMBH J M) 7 décembre 1967 (1967-12-07) colonne 1, ligne 14 - ligne 26 colonne 1, ligne 50 - colonne 2, ligne 24 colonne 4, ligne 19 - ligne 51 figures -----	1,10

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2012/002368

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 10213774 A1	23-10-2003	DE 10213774 A1 WO 03081027 A1	23-10-2003 02-10-2003
GB 578034 A	12-06-1946	AUCUN	
US 5402332 A	28-03-1995	AT 403722 B CN 1092847 A DE 4220255 C1 ES 2076863 A2 IT 1260854 B US 5402332 A	25-05-1998 28-09-1994 23-12-1993 01-11-1995 23-04-1996 28-03-1995
JP 2007113554 A	10-05-2007	JP 4776333 B2 JP 2007113554 A	21-09-2011 10-05-2007
DE 1256170 B	07-12-1967	AUCUN	