



(43) Date de la publication internationale
25 septembre 2014 (25.09.2014)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2014/147332 A1

(51) Classification internationale des brevets :
F01D 5/14 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2014/050623

(22) Date de dépôt international :
18 mars 2014 (18.03.2014)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
13 52495 20 mars 2013 (20.03.2013) FR

(71) Déposant : SNECMA [FR/FR]; 2 boulevard du Général
Martial Valin, F-75015 Paris (FR).

(72) Inventeur : CELLIER, Damien; c/o SNECMA PI (AJI),
Rond-Point René Ravaut-Réau, F-77550 Moissy-cramayel
Cedex (FR).

(74) Mandataire : GUERRE, Fabien; BREVALEX, 95, rue
d'Amsterdam, F-75378 Paris Cedex 8 (FR).

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

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

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, 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,
KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

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

(54) Title : BLADE AND BLADE DIHEDRAL ANGLE

(54) Titre : AUBE ET ANGLE DE DIEDRE D'AUBE

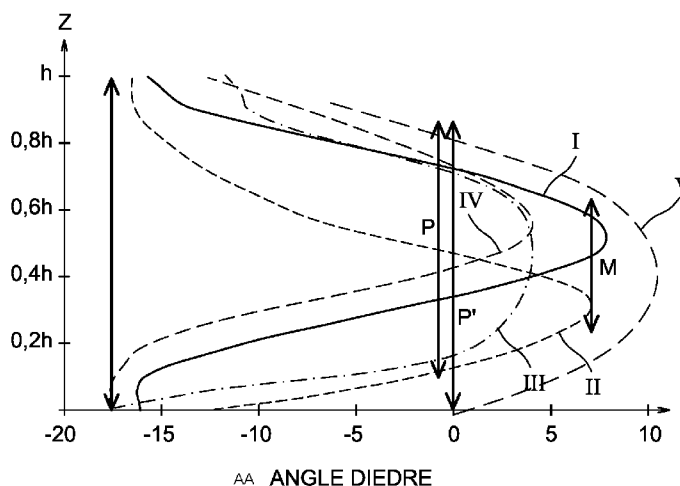


FIG. 3

(57) Abstract : The invention relates to a compressor blade defined at each of the points on its surface by a sweep angle and a dihedral angle, comprising: -a root, -a tip, the distance between the root and the tip, measured along an axis referred to as the radial axis, perpendicular to an axis of rotation of the compressor, being referred to as the radial height (h), - a zone, comprised between the root and the tip, a first part of which has a strictly positive leading edge dihedral angle, and a second part of which has a strictly negative leading edge dihedral angle, - the zone of maximum dihedral angle being comprised, along said radial axis, between $r = 0.25 h$ and $r = 0.7 h$.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



L'invention concerne une aube d'un compresseur, définie en chacun des points de sa surface par un angle de flèche et un angle de dièdre, comportant: -un pied, -une tête, la distance entre le pied et la tête, mesurée le long d'un axe, dit axe radial, perpendiculaire à un axe de rotation du compresseur, étant appelée hauteur radiale (h), -une zone, comprise entre le pied et la tête, dont une première partie présente un angle de dièdre de bord d'attaque strictement positif, et une deuxième partie présente un angle de dièdre de bord d'attaque strictement négatif, -la zone d'angle de dièdre maximum étant comprise, suivant ledit axe radial, entre $r = 0,25 h$ et $r = 0,7 h$.

AUBE ET ANGLE DE DIEDRE D'AUBE**DESCRIPTION****DOMAINE TECHNIQUE ET ART ANTÉRIEUR**

5 L'invention concerne la structure d'une aube (ou d'une pale) d'un compresseur d'une turbomachine, du type pouvant être utilisé dans un moteur aéronautique.

Un tel compresseur comporte une succession d'étages disposés en série. Chaque étage comporte une roue à aubes mobile (rotor), ou aubage mobile, et un
10 stator à aubes (redresseur).

Chaque aubage mobile comporte lui-même un disque circulaire sur lequel sont fixées des aubes (ou ailettes) et tourne devant une partie du stator. Il permet d'aspirer et d'accélérer le flux d'air en le déviant par rapport à l'axe du moteur. Le redresseur qui le suit redresse le flux dans l'axe et le ralentit en transformant une partie
15 de sa vitesse en pression.

On a représenté schématiquement, en figure 1, une coupe montrant une partie d'un tel compresseur. Sur cette figure, on identifie les aubes mobiles 10 et les aubes 20 des redresseurs. Ces dernières sont solidaires de viroles 22, 26. La référence 27 désigne une bride pour fixation de l'ensemble à un carter de compresseur.

20 Chaque aube mobile 10 est positionnée sur une plate-forme interne 13 qui se prolonge par un pied 18, lui-même engagé dans un logement d'un rotor 25. On notera que ces pièces peuvent également être réalisées en un seul bloc, on appelle cet ensemble un Disque Aubagé Monobloc (DAM).

La rotation du rotor s'effectue autour d'un axe AA'.

25 Pour concevoir les aubes 10, 20 d'un tel compresseur HP (haute pression), des études sont réalisées, en vue d'améliorer la performance aérodynamique de l'aubage, tout en assurant une certaine tenue mécanique.

On s'intéresse notamment à l'empilage des coupes. La loi d'empilage tangentiel correspond à la position du centre de gravité de chaque section de l'aube selon

un plan perpendiculaire à la direction principale radiale de l'aube, par rapport à un axe principal radial de l'aube.

L'empilage des coupes de l'aubage est un paramètre important dans ce type d'études. Cette variable joue en effet un rôle, tant du point de vue aérodynamique que du point de vue mécanique. La recherche d'une loi d'empilage optimale représente de ce fait un travail conséquent dans toute conception d'aubages de compresseur HP.

Il se pose le problème d'optimiser les performances aérodynamiques de chaque aubage, définies notamment par la marge au pompage et le rendement. On souhaite également, lors d'une telle optimisation, assurer ou maintenir la tenue mécanique de chaque aube.

EXPOSE DE L'INVENTION

L'invention propose d'abord une aube d'un compresseur, définie en chacun des points de sa surface par un angle de flèche et un angle de dièdre, comportant :

- un pied,
- une tête, la distance entre le pied et la tête, mesurée le long d'un axe, dit axe radial, perpendiculaire à un axe de rotation du compresseur, étant appelée hauteur radiale (h),
- une zone, comprise entre le pied et la tête, dont une première partie présente un angle de dièdre de bord d'attaque strictement positif, et une deuxième partie présente un angle de dièdre de bord d'attaque strictement négatif.

La zone d'angle maximum est comprise, suivant ledit axe radial, entre $r = 0,25 h$ ou $0,3 h$ ou $0,5h$ et $r = 0,65 h$ ou $0,7h$.

Une forme d'aube selon l'invention, et en particulier le choix d'une zone d'angle maximum telle que ci-dessus, permet d'améliorer l'opérabilité du compresseur, sans imposer une contrainte mécanique et/ou une consommation trop importante. On peut ainsi optimiser les performances aérodynamiques (marge au pompage, rendement) sans dégrader la tenue mécanique de l'aube.

L'angle de dièdre de bord d'attaque peut être strictement négatif en tête, et strictement positif ou strictement négatif en pied.

Si la zone située au voisinage du pied de l'aube est à angle de dièdre strictement négatif, l'angle en pied est par exemple au plus égal à -10° ou à -15° .

5 Selon une réalisation, la première partie, à angle de dièdre strictement positif, forment un intervalle, ou s'étend, au plus, entre le pied de l'aube et une position située à $r = 0,85h$ le long de l'axe radial, l'angle de dièdre étant par exemple négatif en tête.

10 La première partie, qui présente un angle de dièdre strictement positif, peut former un intervalle :

- s'étendant, le long de l'axe radial, au plus entre $r = 0,1h$ et $r = 0,85 h$, l'angle de dièdre étant par exemple négatif en pied,
- et/ou ayant une longueur, mesurée suivant ledit axe radial, au moins égale à $0,4h$ ou comprise entre $0,1 h$ et $0,60 h$.

15 De préférence, la différence entre l'angle de dièdre mesuré au pied de l'aube et l'angle de dièdre mesuré à la tête de l'aube, est inférieure à 10° .

L'aube telle que ci-dessus peut :

- être mobile, son pied étant destiné à être fixé à un disque circulaire d'un rotor dudit compresseur, ou bien l'aube faisant partie d'un disque aubagé monobloc,
- 20 - ou bien être fixe, faisant partie d'un stator fixe ou d'un stator à calage variable.

L'invention concerne également un moteur, du type utilisé en aéronautique, comportant un compresseur muni d'aubes fixes et d'aubes mobiles, une ou
25 plusieurs aubes étant du type décrit ci-dessus.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

La Figure 1 est un schéma d'une section d'un compresseur muni de ses aubes, fixes et mobiles.

La Figure 2A est un schéma d'une aube, avec, en superposition, le positionnement d'un repère trirectangle (X, Y, Z).

Les Figure 2B et 2C sont des schémas de coupe d'une aube, avec, en superposition, l'indication des différents angles utiles à la compréhension de l'invention.

5 La Figure 3 illustre divers exemples d'évolution d'un angle de dièdre d'une aube selon l'invention.

La figure 4 représente l'évolution d'un angle de flèche en fonction de la hauteur d'aube.

10 Les figures 5A-5C représentent des vues d'une aube réalisée conformément à l'invention.

La Figure 6 illustre une comparaison entre l'évolution d'un angle de dièdre d'une aube selon l'invention et l'évolution d'un angle de dièdre qui ne met pas en œuvre l'enseignement de la présente invention;

La figure 7 représente une courbe d'isorégime dans le champ Pi-D.

15 DESCRIPTION DETAILLEE DE MODES PREFERES DE REALISATION

Pour chaque aube, on définit un repère XYZ telle que schématisé en figure 2A : l'axe X est l'axe machine, orienté de l'amont vers l'aval, et il est parallèle à l'axe de rotation AA' (voir figure 1).

20 L'axe Z est perpendiculaire à X et définit l'altitude z, depuis le pied de l'aube ($z=0$) jusqu'au sommet de l'aube ($z=h$).

L'axe Y est tangentiel, perpendiculaire à X et à Z.

A partir de là, on définit un autre repère, ou repère cylindrique local (X, R, u), lié à l'aube considérée, dans lequel :

X est toujours l'axe machine, orienté de l'amont vers l'aval,

25 R est l'axe radial, défini comme Z, il est perpendiculaire à X et définit l'altitude par rapport au pied de l'aube; on l'appelle aussi axe d'empilage,

u est l'axe azimutal orienté de l'intrados de l'aube vers l'extrados de l'aube adjacente pour un moteur de type SHAR (sens horaire orienté vers l'arrière), ou orienté suivant la direction inverse pour un moteur de type SHAV (sens horaire orienté

vers l'avant); il est perpendiculaire à X et à R. Dans le cas particulier de la pale représentée en figure 2A, le repère cartésien (X, Y, Z) et le repère cylindrique local (X, R, u) sont confondus.

L'empilage des coupes (on rappelle qu'il s'agit de la position du centre de gravité de chaque section de l'aube selon un plan parallèle à (X, u) et perpendiculaire à la direction principale radiale R de l'aube, par rapport à un axe principal radial de l'aube) peut être défini de différentes façons :

- par la position x_G , y_G du centre de gravité des coupes suivant les axes x et y,

- ou par les angles de flèche et de dièdre comme décrit par exemple dans le document de Leroy H. Smith et al. « Sweep and dihedral effects in axial-flow turbomachinery », Sept 63, ASME.

On choisit ici cette dernière définition. Les angles de flèche et de dièdre sont donc ceux définis dans le document de Leroy H. Smith et al. cité ci-dessus. Les angles a, r, u définis dans cet article sont les angles X, R, u définis ci-dessus.

Ces angles mesurent les différences des directions entre l'écoulement et les aubes, en projection respectivement dans un plan radial et axial et un plan axial et tangent à la direction de rotation de la machine.

Si l'écoulement est purement axial, ce qui est à peu près le cas à l'entrée de la machine, l'angle de flèche exprime l'inclinaison de l'aube en direction axiale, et l'angle de dièdre, l'inclinaison de l'aube en direction tangentielle. Un signe négatif de l'angle de flèche exprime une inclinaison vers l'amont, et un signe positif, vers l'aval ; et un signe négatif de l'angle de dièdre exprime une inclinaison vers l'intrados, et un signe positif, vers l'extrados. Les inclinaisons sont définies à partir de direction radiales vers l'extérieur.

A chacun des points de la surface de l'aube est donc associé un angle de flèche et un angle de dièdre.

Les figures 2B et 2C reproduisent la figure 4 de cet article. Elles représentent des vue en coupe, respectivement :

- dans le plan R, u (tous deux perpendiculaires à l'axe AA'), d'un aubage mobile (figure 2B),

- dans le plan R, X (qui contient l'axe AA'), d'une aube (figure 2C).

On a ajouté, sur ces figures, la référence 11 qui désigne une possible courbe d'étude des angles de flèche et de dièdre. En figure 2C, on retrouve les références 13 et 15 qui désignent respectivement la partie de l'aube la plus proche du pied, et la tête de l'aube. Sur cette figure, on voit également le bord d'attaque 17 et le bord de fuite 19 de l'aube représentée. La référence 30 désigne une ligne de courant à partir de laquelle une surface d'écoulement axisymétrique (autour de l'axe moteur) est engendrée.

En outre, on voit, en figure 2B, l'angle η que fait, dans le plan [R;u], en chacun de ses points, la courbe 11 avec l'axe R. On peut considérer qu'il s'agit de l'angle que fait, en chaque point de la courbe 11, la tangente à cette courbe 11 avec l'axe R.

L'angle μ (figure 2C) désigne, en chaque point de la courbe 11, l'angle que fait celui-ci (ou sa tangente), dans le plan [X;R], avec l'axe R. On peut considérer ici que les angles de flèche et de dièdre sont ceux au bord d'attaque de l'aube considérée. Dans ce cas, la courbe 11 suit le bord d'attaque de la pale, et est donc confondue avec le bord d'attaque 17. Enfin, on désigne par V_x , V_R , V_u , la projection, sur les axes X, R, u, du vecteur vitesse du flux axisymétrique relatif à la rangée d'aubes considérée.

On définit également :

$$\tan \beta = V_u / V_x$$

et :

$$\tan \phi = V_R / V_x$$

En suivant les notations ci-dessus, et conformément à l'enseignement de l'article de L.H.Smith, l'angle de flèche λ est défini par :

$$\sin \lambda = \frac{\tan \varphi + \tan \mu + \tan \eta \tan \beta}{\sqrt{(1 + \tan^2 \eta + \tan^2 \mu)(1 + \tan^2 \beta + \tan^2 \varphi)}}$$

et l'angle de dièdre ν est défini par :

$$\sin \nu = \frac{\sec \varphi \tan \eta - \tan \beta (\sin \varphi + \cos \varphi \tan \mu)}{\sqrt{(1 - \tan \varphi \tan \mu)^2 + (\tan \beta - \tan \varphi \tan \eta)^2 + (\tan \eta - \tan \beta \tan \mu)^2}}$$

Des exemples de réalisation d'une aube selon l'invention vont être décrits en liaison avec la figure 3.

Sur cette figure, sont représentées diverses courbes qui donnent des exemples d'évolution de l'angle de dièdre en bord d'attaque, tel que défini ci-dessus, en fonction de la position le long de l'axe R tel que, lui aussi, défini ci-dessus.

On voit, d'après ces figures, que l'évolution de l'angle de dièdre définit une forme, dite « bulbée », qui comporte une partie pour laquelle l'angle de dièdre a des valeurs strictement positives et une partie (qui peut elle même comporter deux sous parties) pour lesquelles l'angle de dièdre a des valeurs strictement négatives.

En figure 3, on distingue, selon l'axe des ordonnées (axe R):

- une première partie, dans laquelle l'angle de dièdre est strictement négatif ; pour chacune des courbes I-IV représentées, cela correspond, sur l'axe R des ordonnées, à 2 zones, l'une proche du pied de l'aube, l'autre proche de la tête de l'aube,
- et une deuxième partie, dans laquelle l'angle de dièdre est strictement positif ; pour chacune des courbes représentées, cela correspond, sur l'axe R des ordonnées, à une seule zone (ou un seul intervalle), située à distance du pied de l'aube et de la tête de l'aube.

Plus précisément, dans le cas des exemples qui sont illustrés sur la figure 3 :

- la courbe I a une zone (ou intervalle) de dièdre strictement positif qui s'étend, selon l'axe R, entre, environ, 0,35h et 0,72h,
- la courbe II a une zone (ou intervalle) de dièdre strictement positif qui s'étend, selon l'axe R, entre, environ, 0,15h et 0,47h,
- la courbe III a une zone (ou intervalle) de dièdre strictement positif qui s'étend, selon l'axe R, entre, environ, 0,17h et 0,70h,
- la courbe IV a une zone (ou intervalle) de dièdre strictement positif qui s'étend, selon l'axe R, entre, environ, 0,43h et 0,72h.

Dans la, ou les, zones autres que la zone de dièdre strictement positif, l'angle de dièdre est strictement négatif, et il est nul en seulement 2 points.

Comme on le comprend des explications ci-dessus, la forme bulbée s'étend ici entre une première position, dite position basse, située à proximité ou du côté du pied de l'aube (cote $r=0$ le long de l'axe R), et une deuxième position, dite position haute, située à proximité, ou du côté, de la tête de l'aube (qui a la cote h le long de l'axe R).

La position basse est disposée entre le pied de l'aube (position $r=0$ le long de l'axe R) et une position, éloignée du pied, située à environ $r=0,25h$.

La position haute est disposée entre la tête de l'aube (ce qui correspond à une position, éloignée du pied d'une distance h) et une position, éloignée du pied d'environ $0,75h$. En tête de l'aube, l'angle de dièdre est strictement négatif.

De préférence, l'angle de dièdre a une valeur strictement positive dans un intervalle :

- qui s'étend, le long de R, sur une longueur comprise entre $0,1 h$ et $0,6 h$,

- mais qui, en outre, est disposé ou strictement inclus à l'intérieur d'une zone (identifiée par P sur la figure 3) de l'aube pour laquelle r est compris entre $0,1 h$ et $0,85 h$. Autrement dit, la zone (ou l'intervalle) à angle de dièdre strictement positif a, selon R, un point inférieur situé à au moins $r=0,1h$ (il peut être au-delà, par exemple à $r=0,2h$ ou à $r=0,3h$) et a un point supérieur situé à, au plus, $r=0,85h$ (ce point supérieur peut être en-deçà de $0,85h$, par exemple à $r = 0,5h$ ou $r = 0,7h$).

Les deux conditions ci-dessus sont satisfaites pour les quatre courbes I-IV décrites ci-dessus.

On comprend qu'un profil d'aube selon l'invention peut être à angle de dièdre négatif en pied et en tête, avec, par exemple, un angle minimum, en pied ($r=0$) et/ou en tête ($r=h$), inférieur à -10° ou même à -15° .

Selon encore un autre exemple, l'angle de dièdre a une valeur strictement positive entre $0,2h$ et $0,8h$, donc sur un intervalle de longueur $0,6h$, qui est bien compris entre $0,1 h$ et $0,85 h$ ou qui est strictement inclus à l'intérieur de l'intervalle $0,1 h - 0,85 h$. Pour la même longueur d'intervalle ($0,6h$), celui-ci pourrait être compris entre $0,1h$ et $0,7h$ (qui est bien compris, lui aussi, entre $0,1 h$ et $0,85 h$).

Selon un autre exemple, la zone ou l'intervalle à angle de dièdre strictement positif s'étend sur une longueur de $0,4h$, avec un point inférieur à $0,2h$ et un point supérieur situé à $0,6h$, satisfaisant aux deux conditions qui viennent d'être énoncées. Pour $r < 0,2h$ ou $r > 0,6h$, l'angle de dièdre est strictement négatif.

5 En ce qui concerne l'angle maximum, il peut être compris entre, environ, $2,5^\circ$ et 7° ou 8° , ou même 10° , ou 15° , ou 20° . La partie, ou la zone, qui a un angle maximum, est préférentiellement incluse dans l'intervalle (identifié par M sur la figure 3) dans lequel r varie, environ, de $r = 0,25h$ à $r = 0,65h$ ou à $r = 0,7h$. Autrement dit, ce maximum est préférentiellement compris entre $r = 0,25h$ et $r = 0,65h$ ou $0,7h$.

10 Ainsi, sur la courbe I, le maximum est à, environ, $0,5h$ tandis que, pour la courbe II, il est à, environ, $0,3h$.

Et l'on voit que la différence angulaire entre l'angle de dièdre en pied et l'angle de dièdre en tête est inférieure à environ 10° . Elle est de moins de 2° pour la courbe I, d'environ 5° à 8° pour les courbes II, III et IV.

15 Enfin, la différence entre l'angle de dièdre maximum (positif) et l'angle de dièdre minimum (négatif) est, dans le cas des 4 exemples I-IV donnés, sensiblement comprise entre 20° et 23° . En général cette différence est inférieure à 20° .

On présente maintenant une variante dans laquelle l'angle de dièdre :

20 - est positif ou légèrement positif (par exemple il a une valeur comprise entre 0° et 5°) à proximité ou du côté du pied de l'aube (cote $r=0$ le long de l'axe R),

- puis il croît vers un maximum positif,
- et il diminue ensuite, pour rejoindre une valeur nulle, et enfin, prendre des valeurs négatives jusqu'à la tête de l'aube.

25 On a représenté en figure 3, une courbe V qui donne, selon cette variante, un exemple d'évolution de l'angle de dièdre (tel que déjà défini ci-dessus), pour lequel on distingue, selon l'axe R :

- une première partie (comportant 1 seule zone, ou 1 seul intervalle, à partir du pied de l'aube), dans laquelle l'angle de dièdre est strictement positif; cette
30 patrie est identifiée par P' sur la figure 3,

- et une deuxième partie (comportant 1 seule zone, ou 1 seul intervalle, proche de la tête de l'aube), dans laquelle l'angle de dièdre est strictement négatif.

5 Un profil d'aube selon l'invention peut donc être à angle de dièdre positif en pied et négatif en tête, avec, par exemple, un angle minimum, en tête ($r=h$), inférieur à -10° ou même à -15° .

Pour cette courbe V, la zone de dièdre strictement positif s'étend, selon l'axe R, entre 0 et, environ, $0,72h$; en dehors de cette zone, l'angle de dièdre est strictement négatif, et il est nul en seulement 1 point. En position basse, déjà définie ci-
10 dessus, l'angle de dièdre est strictement positif. En position haute, également déjà définie ci-dessus, l'angle de dièdre est strictement négatif.

De préférence, selon cette variante, l'angle de dièdre a une valeur strictement positive sur une zone qui s'étend, le long de R, sur une longueur d'au moins $0,4h$ mais qui est disposée (et qui peut varier) entre, au minimum, $r=0$ et, au maximum,
15 $r=0,85h$ (dans P' sur la figure 3).

En ce qui concerne l'angle maximum, il peut être compris entre, environ, 3° et 20° .

La zone qui a un angle maximum est disposée préférentiellement entre, environ, $r=0,25h$ et $r=0,7h$ ou, d'une manière encore préférée, entre $0,5h$ et $0,7h$ ou
20 entre $0,5h$ et $0,65h$. Cet aménagement permet d'améliorer la marge au pompage de l'étage optimisé sans en dégrader les performances. Le maximum positionné entre $0,25h$ et $0,7h$ permet d'aboutir à des angles dièdres inférieurs à -10° ou même à -15° sans générer une pente trop importante de la courbe dièdre sur la partie supérieure de la pale.

Cela permet de ne pas fragiliser la pale vis-à-vis des exigences de tenue
25 mécanique inhérentes à la conception d'aubages, par exemple vis-à-vis des modes 2S1 (Stripe) et 1T (Torsion). Le maximum positionné entre $0,5h$ et $0,65$ ou entre $0,5h$ et $0,7h$ représente dans la plupart des cas le meilleur compromis entre les avantages précisés précédemment et la recherche d'amélioration du rendement.

Dans tous les cas, en ce qui concerne l'angle de flèche, celui-ci pourra
30 suivre une loi du type connu selon l'art antérieur. Un autre exemple de loi possible est

illustré en figure 4, où l'on voit que l'angle de flèche a une valeur proche de 20° au pied de l'aube, diminue d'abord légèrement dans une première zone le long de l'axe z, puis suit une loi sensiblement linéaire, jusqu'à atteindre, pour environ $r = 0,7h$, un extremum compris entre -20° est -25° . L'angle de flèche diminue ensuite de nouveau, au fur et à mesure que l'on se rapproche de la tête de l'aube.

Les figures 5A-5C représentent des vues d'une aube réalisée conformément à l'invention :

- la figure 5A en représente une vue de l'intrados 12 de l'aube,
- la figure 5B en représente une vue de l'aube depuis son bord d'attaque 14,
- la figure 5C en représente une vue de l'aube depuis son bord de fuite 16.

Sur ces figures, l'aube est représentée montée sur son pied 18 ; celui-ci pourra avoir une forme adaptée type d'attache mise en œuvre (par exemple forme de type marteau, ou pied de sapin, ou queue d'aronde). Mais l'invention s'applique aussi à une aube ou à un disque aubagé monobloc (DAM) dans lequel il n'y pas d'attache ; elle s'applique aussi au cas d'un redresseur, auquel cas il n'y a pas non plus d'attache.

La figure 6 illustre la différence entre une loi d'évolution de l'angle de dièdre, qui ne met pas en œuvre l'enseignement de la présente invention (courbe I), et une loi selon l'invention (courbe II).

Par rapport à la loi d'évolution selon la courbe I, la loi selon l'invention, représentée sur cette figure, améliore la marge au pompage d'un étage d'un compresseur haute pression d'un facteur au moins égal à 1,5. Le rendement (par exemple le rendement polytropique ou isentropique) n'est pas affecté de manière sensible : on peut même considérer qu'il est un peu meilleur (d'environ quelques dixièmes de pourcents; soit moins de 0,8%) de par la forme en pied de la courbe II.

La marge au pompage d'un étage peut être approximativement définie de la manière suivante, à partir du débit D et de P_i , qui est le taux de compression, ou encore la pression totale en sortie d'aube divisé par la pression totale en entrée d'aube.

Dans le plan P_i , D (figure 7) on définit une courbe d'isorégime, qui donne, pour un débit donné, le taux de compression. Un exemple d'évolution de cette courbe est donné sur la figure 7.

La marge au pompage est définie, à son tour, comme le rapport entre :

- 5 - le rapport P_i/D du point le plus proche du pompage (identifié en figure 7 par « P_i/D POMPAGE »),
- et le rapport P_i/D au point où la courbe d'isorégime coupe la ligne de fonctionnement (point identifié en figure 7 par « P_i/D LIGNE DE FONCTIONNEMENT »). La ligne de fonctionnement définit l'ensemble des points de fonctionnement stabilisés du
- 10 moteur dans le champ P_i -Débit en fonctionnement nominal.

La description ci-dessus a été faite pour une pale ou une aube mobile, en rotation autour de l'axe du moteur, lors du fonctionnement de celui-ci, mais elle s'applique également à la forme d'une aube fixe faisant partie d'un stator fixe ou d'un stator à calage variable.

REVENDICATIONS

1. Aube (10, 20) d'un compresseur, définie en chacun des points de sa surface par un angle de flèche et un angle de dièdre, comportant :

- un pied,
- une tête, la distance entre le pied et la tête, mesurée le long d'un axe (R), dit axe radial, perpendiculaire à un axe de rotation du compresseur, étant appelée hauteur radiale (h),
- une zone, comprise entre le pied et la tête, dont une première partie présente un angle de dièdre de bord d'attaque strictement positif, et une deuxième partie présente un angle de dièdre de bord d'attaque strictement négatif,
- la zone d'angle de dièdre maximum étant comprise, suivant ledit axe radial, entre $r = 0,25 h$ et $r = 0,7 h$.

2. Aube selon la revendication 1, l'angle de dièdre de bord d'attaque étant strictement négatif en tête, et strictement positif ou strictement négatif en pied.

3. Aube selon la revendication 1 ou 2, l'angle de dièdre de bord d'attaque étant strictement négatif en pied, et inférieur à -10° .

4. Aube selon l'une des revendications 1 à 3, la première partie, à angle de dièdre de bord d'attaque strictement positif, formant un intervalle, ou s'étendant au plus, entre, d'une part, le pied de l'aube ($r=0$), ou une position située à $r=0,1h$, et, d'autre part, une position située à $r = 0,85h$ le long de l'axe radial.

5. Aube selon l'une des revendications 1 à 4, la première partie, qui présente un angle de dièdre de bord d'attaque strictement positif, formant un intervalle ayant une longueur, mesurée suivant ledit axe radial, au moins égale à $0,4h$ et/ou comprise entre $0,1 h$ et $0,60 h$.

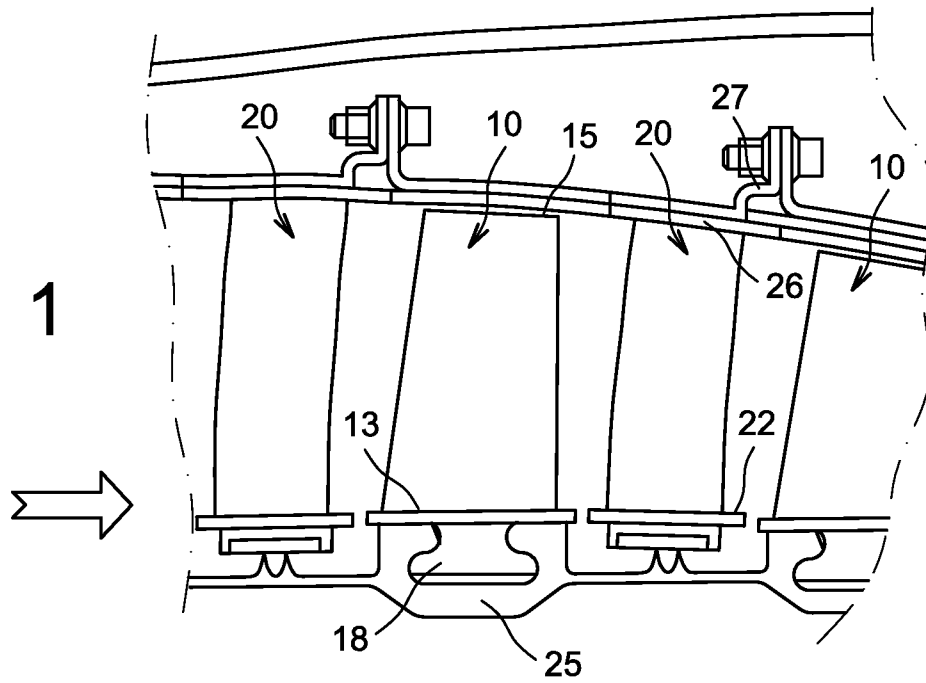
6. Aube selon l'une des revendications 1 à 5, la différence entre l'angle de dièdre de bord d'attaque mesuré au pied de l'aube et l'angle de dièdre de bord d'attaque mesuré à la tête de l'aube, étant inférieure à 10°.

- 5 7. Aube selon l'une des revendications précédentes, caractérisée :
- en ce qu'elle est mobile, son pied étant destiné à être fixé à un disque circulaire d'un rotor dudit compresseur, ou bien l'aube faisant partie d'un disque aubagé monobloc,
 - ou bien en ce qu'elle est fixe, faisant partie d'un stator fixe ou d'un
- 10 stator à calage variable.

8. Moteur, du type utilisé en aéronautique, comportant un compresseur muni d'aubes fixes (10) et d'aubes mobiles (20), une partie au moins des aubes étant selon l'une des revendications 1 à 7.

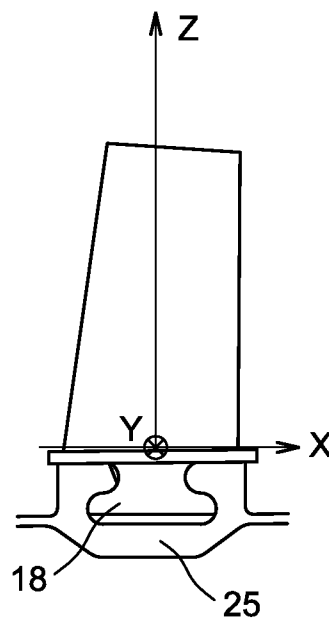
1 / 6

FIG. 1



A ————— A'

FIG. 2A



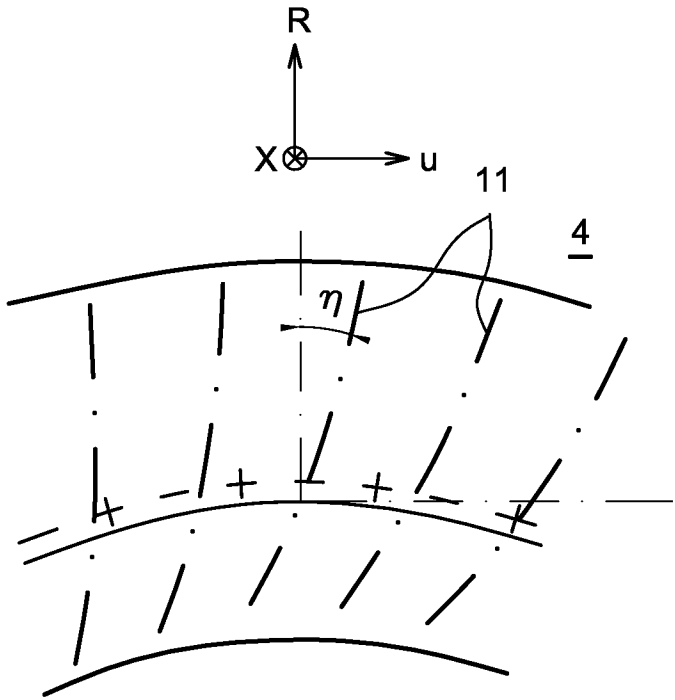
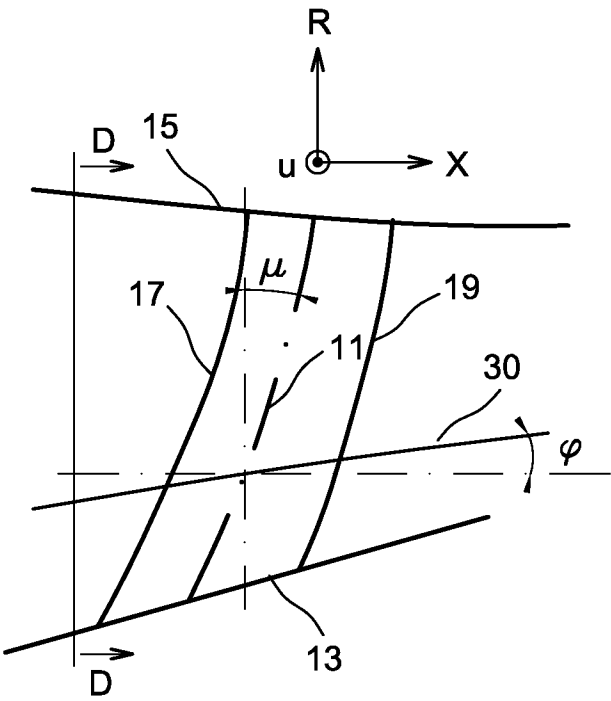


FIG. 2B

FIG. 2C



3 / 6

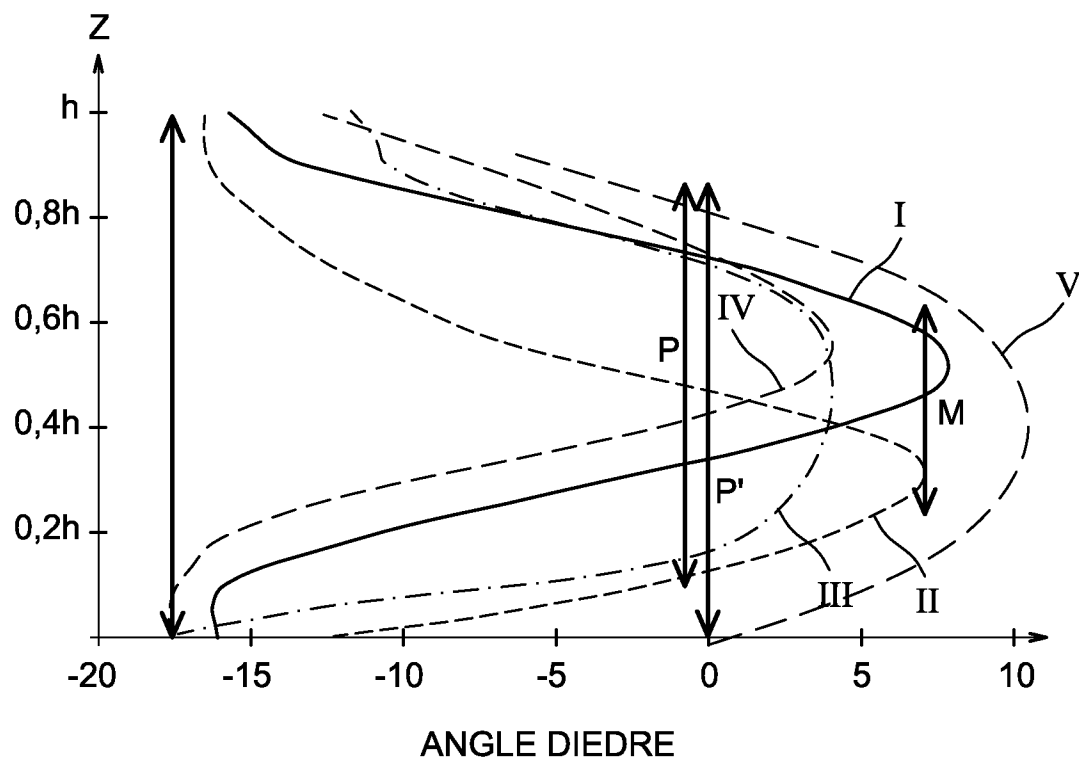


FIG. 3

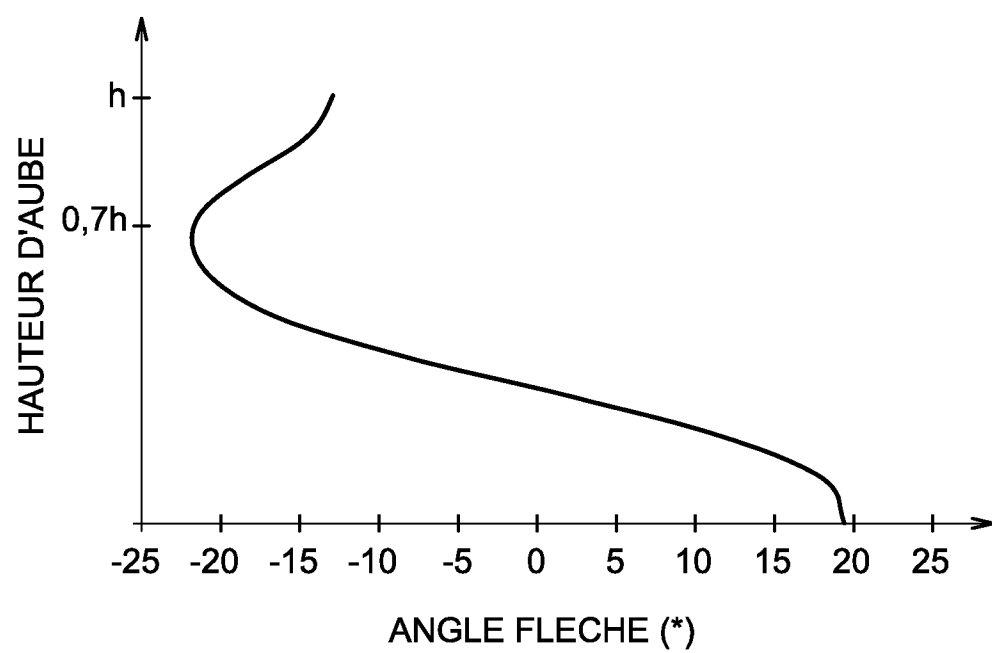


FIG. 4

4 / 6

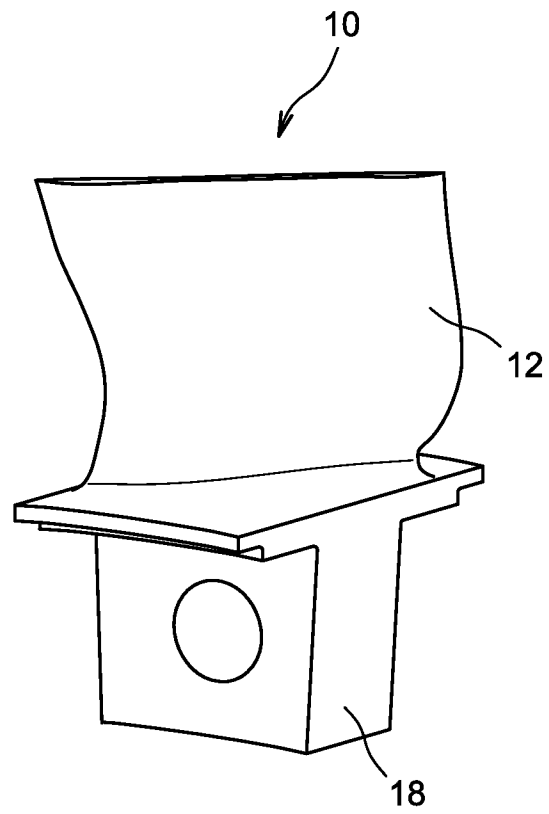


FIG. 5A

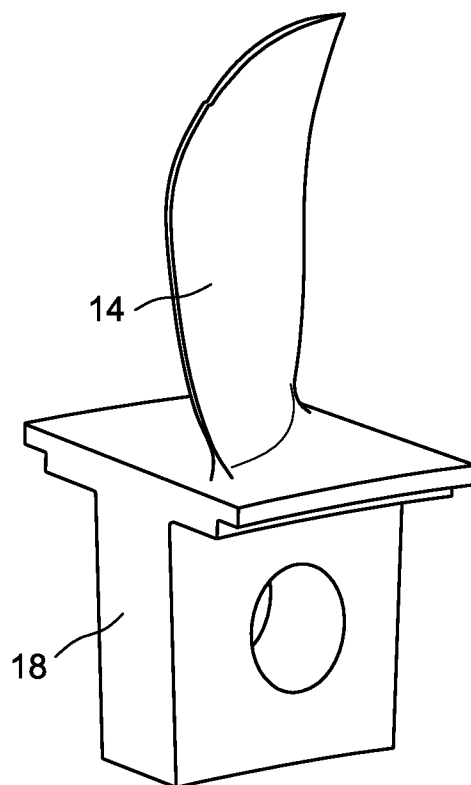


FIG. 5B

5 / 6

FIG. 5C

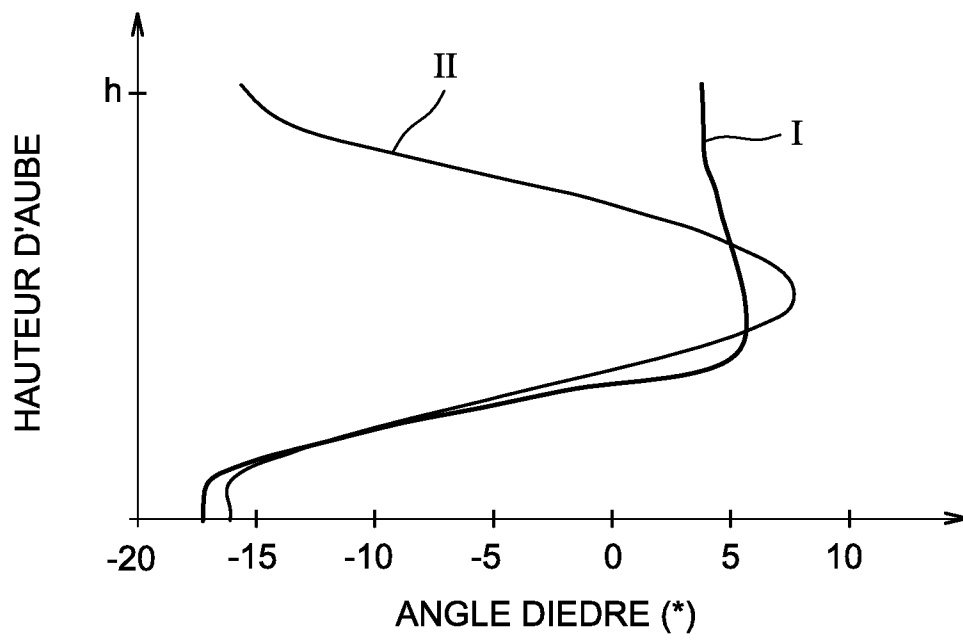
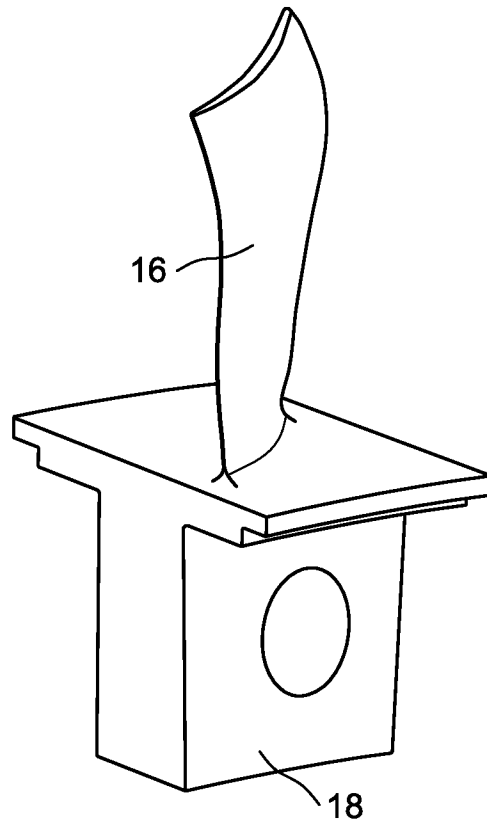


FIG. 6

6 / 6

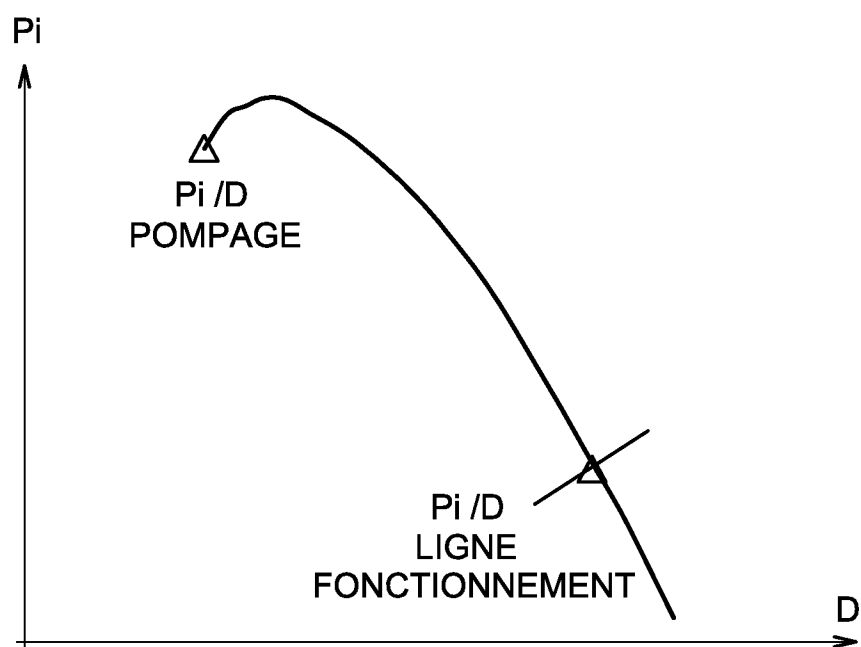


FIG. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2014/050623

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. F01D5/14
 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)
 F01D 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, 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	US 2010/054946 A1 (OROSA JOHN [US] ET AL) 4 March 2010 (2010-03-04) paragraphs [0046] - [0048]; figure 10 -----	1,2,4,5, 7,8
X	EP 1 930 600 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 11 June 2008 (2008-06-11) paragraphs [0030] - [0033]; figure 12 -----	1,3,6-8
A	US 2012/244005 A1 (BREEZE-STRINGFELLOW ANDREW [US] ET AL) 27 September 2012 (2012-09-27) paragraphs [0028] - [0030]; figure 4 -----	1



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

15 May 2014

Date of mailing of the international search report

23/05/2014

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

Pileri, Pierluigi

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2014/050623

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2010054946	A1	04-03-2010	NONE

EP 1930600	A2	11-06-2008	CA 2610541 A1 30-05-2008
			EP 1930600 A2 11-06-2008
			JP 5410014 B2 05-02-2014
			JP 2008138677 A 19-06-2008
			US 2008131271 A1 05-06-2008

US 2012244005	A1	27-09-2012	CA 2830257 A1 04-10-2012
			EP 2689138 A2 29-01-2014
			US 2012244005 A1 27-09-2012
			WO 2012134833 A2 04-10-2012

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2014/050623

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. F01D5/14
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)
F01D 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, 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	US 2010/054946 A1 (OROSA JOHN [US] ET AL) 4 mars 2010 (2010-03-04) alinéas [0046] - [0048]; figure 10 -----	1,2,4,5, 7,8
X	EP 1 930 600 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 11 juin 2008 (2008-06-11) alinéas [0030] - [0033]; figure 12 -----	1,3,6-8
A	US 2012/244005 A1 (BREEZE-STRINGFELLOW ANDREW [US] ET AL) 27 septembre 2012 (2012-09-27) alinéas [0028] - [0030]; figure 4 -----	1



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

15 mai 2014

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

23/05/2014

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

Pileri, Pierluigi

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2014/050623

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2010054946	A1	04-03-2010	AUCUN	

EP 1930600	A2	11-06-2008	CA 2610541 A1	30-05-2008
			EP 1930600 A2	11-06-2008
			JP 5410014 B2	05-02-2014
			JP 2008138677 A	19-06-2008
			US 2008131271 A1	05-06-2008

US 2012244005	A1	27-09-2012	CA 2830257 A1	04-10-2012
			EP 2689138 A2	29-01-2014
			US 2012244005 A1	27-09-2012
			WO 2012134833 A2	04-10-2012
