

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 10.11.10.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 11.05.12 Bulletin 12/19.

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

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : SNECMA Société anonyme — FR et
SNECMA PROPULSION SOLIDE Société anonyme —
FR.

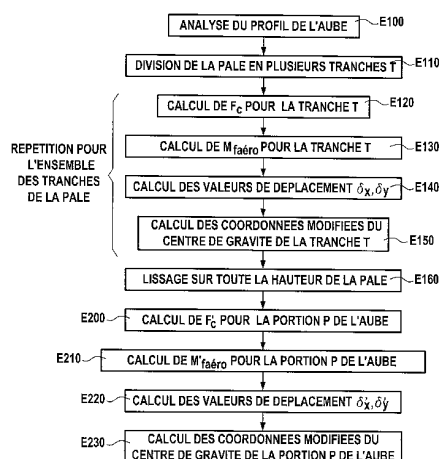
⑦2 Inventeur(s) : DUVAL SYLVAIN, YVES, JEAN,
ROUSSILLE CLEMENT, SCHWEITZER ALAIN et
GIRARD PATRICK, JOSEPH, MARIE.

⑦3 Titulaire(s) : SNECMA Société anonyme, SNECMA
PROPULSION SOLIDE Société anonyme.

⑦4 Mandataire(s) : CABINET BEAU DE LOMENIE.

⑤4 PROCÉDE D'OPTIMISATION DU PROFIL D'UNE AUBE EN MATERIAU COMPOSITE POUR ROUE MOBILE DE
TURBOMACHINE.

⑤7 L'invention concerne un procédé d'optimisation du
profil d'une aube en matériau composite pour roue mobile
de turbomachine. Le procédé comprend: une étape de
compensation de la pale de l'aube consistant à diviser la
pale en tranches (E110), et pour chaque tranche de pale et
un régime de rotation prédéterminé du disque de la roue,
calculer la force centrifuge à laquelle est soumise la tranche
(E120), calculer le moment de la force aérodynamique
s'exerçant sur la section inférieure de la tranche (E130), et
calculer des valeurs de déplacements (E140) à appliquer à
un centre de gravité de la tranche pour annuler ce moment
de la force aérodynamique; et une étape de compensation
de l'échasse de l'aube consistant à calculer la force centri-
fuge à laquelle est soumise une portion de l'aube située au-
dessus du col de la pale, calculer le moment de la force aé-
rodynamique s'exerçant sur une section inférieure de
l'échasse de l'aube (E210), et calculer des valeurs de dépla-
cements (E220) à appliquer à un centre de gravité de
l'échasse de l'aube pour annuler ce moment de la force aé-
rodynamique.



Arrière-plan de l'invention

La présente invention se rapporte au domaine général de la conception d'une aube en matériau composite pour roue mobile de turbomachine.

Le domaine visé est celui des aubes mobiles de turbines à gaz pour moteurs aéronautiques ou turbines industrielles.

La réalisation d'aubes en matériau composite, notamment en CMC (composite à matrice céramique) pour des turbomachines a déjà été proposée. On se référera notamment au document FR 2,939,129 qui décrit la fabrication d'une aube de turbomachine en matériau composite comprenant un renfort fibreux densifié par une matrice.

Il est connu que les aubes métalliques présentent des caractéristiques de tenue mécanique qui se détériorent fortement aux hautes températures, ce qui nécessite d'optimiser le profil géométrique de ces aubes dans les zones chaudes, à savoir leur pale, afin de réduire les contraintes mécaniques à laquelle les aubes sont soumises en fonctionnement.

Au contraire des aubes métalliques, les aubes en CMC présentent des caractéristiques de tenue mécanique qui résistent mieux aux hautes températures, ce qui reporte la zone critique de l'aube au niveau de son pied (qui est la partie froide). Il en résulte l'apparition de contraintes mécaniques élevées au niveau du pied de l'aube lors de la rotation de celle-ci.

Objet et résumé de l'invention

La présente invention a donc pour but principal de pallier de tels inconvénients en proposant un procédé d'optimisation du profil d'une aube en matériau composite permettant de réduire les contraintes mécaniques à laquelle l'aube est soumise en fonctionnement.

Ce but est atteint grâce à un procédé d'optimisation du profil d'une aube en matériau composite l'aube comprenant une pale constituée d'une pluralité de sections d'aubes empilées selon une direction radiale à la roue, un pied destiné à être monté sur un disque de la roue et prolongé par une échasse, et une plateforme située entre l'échasse et la pale, le

pieu se raccordant à l'échasse par un col, le procédé comprenant, conformément à l'invention, les étapes suivantes :

5 une étape de compensation de la pale de l'aube consistant à diviser la pale en des tranches délimitées chacune entre une section inférieure et une section supérieure, et pour chaque tranche de pale et un régime de rotation prédéterminé du disque de la roue, calculer la force centrifuge à laquelle est soumise la tranche, calculer le moment de la force aérodynamique s'exerçant sur la section inférieure de la tranche, et calculer des valeurs de déplacements à appliquer à un centre de gravité de la tranche selon des directions tangentielle et longitudinale pour annuler le moment de la force aérodynamique s'exerçant sur la section inférieure de ladite tranche ; et

10 une étape de compensation de l'échasse de l'aube consistant à calculer la force centrifuge à laquelle est soumise une portion de l'aube située au-dessus du col et constituée de la pale, de la plateforme et de l'échasse, calculer le moment de la force aérodynamique s'exerçant sur une section inférieure de l'échasse de l'aube, et calculer des valeurs de déplacements à appliquer à un centre de gravité de l'échasse de l'aube selon les directions tangentielle et longitudinale pour annuler le moment de la force aérodynamique s'exerçant sur la section inférieure de l'échasse de l'aube.

En fonctionnement, l'aube est soumise à la fois à des efforts aérodynamiques induits par l'écoulement de gaz traversant la turbomachine et à des efforts centrifuges dus à la rotation de la roue.

25 L'étape de compensation de la pale selon le procédé de l'invention consiste à déplacer (selon des directions tangentielle et longitudinale) les centres de gravité des différentes sections d'aube de la pale afin de compenser le moment de flexion induit par les efforts aérodynamiques par le moment de flexion induit par les efforts centrifuges. Plus précisément, les efforts aérodynamiques génèrent un moment en bas de pale. En décalant les centres de gravité des différentes tranches de la pale dans le même sens que les efforts aérodynamiques, on crée un moment généré par l'effort centrifuge qui est opposé au moment induit par les efforts aérodynamiques.

35 Par ailleurs, les efforts aérodynamiques génèrent également un moment au niveau de l'échasse de celle-ci. Le procédé selon l'invention prévoit au cours de l'étape de compensation de l'échasse de compenser ce

moment par le moment de flexion induit par les efforts centrifuges et donc d'obtenir un équilibre des moments au niveau de l'échasse de l'aube.

En créant un équilibre des moments à la fois au niveau du bas de pale et au niveau de l'échasse de l'aube, il est ainsi possible de réduire les contraintes mécaniques à laquelle l'aube est soumise en fonctionnement. Il en résulte une augmentation de la durée de vie de l'aube et la possibilité d'utiliser un matériau avec une tenue mécanique plus faible (ou plus limitée) dans la zone du pied de l'aube que les matériaux métalliques traditionnels. Par ailleurs, l'optimisation du profil de l'échasse de l'aube se fait au bénéfice de sa masse et de son encombrement.

Avantageusement, les valeurs de déplacements à appliquer aux centres de gravité des tranches de pale et à l'échasse de l'aube sont lissées sur toute la hauteur de l'aube. Cette opération permet d'obtenir un profil de la pale qui ne nuit pas aux performances aérodynamiques de l'aube.

La force centrifuge à laquelle est soumise une tranche de pale peut être donnée par la formule suivante :

$$F_C = M_T \times R_{CDG} \times \omega^2$$

avec : M_T pour la masse de la tranche de pale, R_{CDG} pour la distance entre l'axe de rotation du disque et le centre de gravité de la tranche de pale ; et ω pour la vitesse de rotation disque au régime prédéterminé.

Les valeurs de déplacements à appliquer au centre de gravité d'une tranche de pale peuvent être données par les formules suivantes :

$$\begin{aligned} \delta_X &= M_{Y\text{-faéro}} / F_C \\ \delta_Y &= M_{X\text{-faéro}} / F_C \end{aligned}$$

avec : $M_{X\text{-faéro}}$ pour la composante du moment de la force aérodynamique s'exerçant sur la section inférieure de la tranche selon la direction longitudinale ; $M_{Y\text{-faéro}}$ pour la composante du moment de la force aérodynamique s'exerçant sur la section inférieure de la tranche selon la direction tangentielle ; et F_C pour la force centrifuge à laquelle est soumise la tranche.

De même, les valeurs de déplacements (δ'_X , δ'_Y) à appliquer au centre de gravité de l'échasse de l'aube peuvent être données par les formules suivantes :

$$\begin{aligned} \delta'_X &= M'_{Y\text{-faéro}} / F'_C \\ \delta'_Y &= M'_{X\text{-faéro}} / F'_C \end{aligned}$$

- avec : $M'_{X\text{-faéro}}$ pour la composante du moment de la force aérodynamique s'exerçant sur la section inférieure de l'échasse de l'aube selon la direction longitudinale ; $M'_{Y\text{-faéro}}$ pour la composante du moment de la force aérodynamique s'exerçant sur la section inférieure de l'échasse de l'aube selon la direction tangentielle ; et F'_c pour la force centrifuge à laquelle est soumise la portion de l'aube située au-dessus du col.

Lorsque l'aube comprend en outre un talon au voisinage de l'extrémité libre de la pale, l'étape de compensation de l'échasse s'applique de préférence à une portion de l'aube constituée de la pale, de la plateforme, de l'échasse et du talon de l'aube.

Dans l'étape de compensation de la pale de l'aube, la pale peut être divisée en dix tranches s'étendant chacune sur 10% de la hauteur totale de la pale.

15 Brève description des dessins

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description faite ci-dessous, en référence aux dessins annexés qui en illustrent un exemple de réalisation dépourvu de tout caractère limitatif. Sur les figures :

- 20 - la figure 1 est une vue schématique et en perspective d'un exemple d'aube à laquelle s'applique le procédé selon l'invention ; et
- la figure 2 indique les étapes successives d'un procédé d'optimisation du profil d'une aube selon l'invention.

25 Description détaillée d'un mode de réalisation

L'invention est applicable à différents types d'aubes de turbomachine, notamment des aubes de compresseur et de turbine de différents corps de turbines à gaz, par exemple une aube de roue mobile de turbine basse pression, telle que celle illustrée sur la figure 1.

- 30 L'aube 10 de la figure 1 est destinée à être montée sur un disque 12 d'une roue mobile centrée sur un axe longitudinal 14 de la turbomachine. Cette roue mobile définit trois axes perpendiculaires formant un repère orthogonal (O,X,Y,Z) défini par un axe longitudinal X (parallèle à l'axe longitudinal 14 de la turbomachine), un axe tangentiel Y et un axe radial Z, l'origine O du repère étant centré sur l'axe longitudinal
- 35 14 de la turbomachine.

De façon en soi bien connue, l'aube 10 comprend une pale 16, un pied 18 formé par une partie de plus forte épaisseur, par exemple à

section en forme de bulbe, prolongé par une échasse 20, une plateforme intérieure 22 située entre l'échasse et la pale et une plateforme extérieure ou talon 24 au voisinage de l'extrémité libre de la pale. L'aube est constituée d'une pluralité de sections d'aubes qui sont empilées selon l'axe radial Z.

La pale 16 s'étend selon l'axe radial Z entre la plateforme 22 et le talon 24 et présente en section transversale un profil incurvé d'épaisseur variable entre son bord d'attaque 16a et son bord de fuite 16b.

L'aube 10 est montée sur le disque 12 par engagement du pied 18 dans un logement 25 de forme correspondante aménagé à la périphérie du disque. Le pied 18 se raccorde à l'échasse 20 par un col 26.

A son extrémité radiale interne, la pale 16 se raccorde à la plateforme 22 qui délimite, à l'intérieur, la veine d'écoulement de flux gazeux dans la turbine. A son extrémité radiale externe, la pale 16 se raccorde au talon 24 qui délimite, à l'extérieur, la veine d'écoulement du flux gazeux dans la turbine.

L'aube 10 est réalisée en matériau composite, par exemple en CMC. On pourra se référer au document FR 2,939,129 qui décrit un exemple de fabrication d'une telle aube.

En fonctionnement, cette aube est soumise, d'une part à des efforts aérodynamiques induits par l'écoulement de flux gazeux traversant la turbine, et d'autre part à des efforts centrifuges dus à la rotation de la roue mobile 12 autour de l'axe longitudinal 14. Ces efforts (aérodynamiques et centrifuges) génèrent notamment des moments de flexion au niveau du bas de la pale (c'est-à-dire au voisinage de la plateforme 22), mais également au niveau du col 26 raccordant le pied 18 à l'échasse 20.

Selon l'invention, il est prévu d'optimiser le profil de l'aube pour obtenir un équilibre entre les moments de flexion induits par les efforts aérodynamiques et les moments de flexion induits par les efforts centrifuges. Cette optimisation est pratiquée pour une phase de vol particulière qui est notamment caractérisée par un régime de rotation prédéterminé ω du disque de la roue.

De manière générale, l'optimisation du profil de l'aube consiste à déplacer selon des directions tangentielle et longitudinale les centres de gravité des différentes sections d'aube pour parvenir à un tel équilibre.

Idéalement, si l'optimisation est optimale, les sections d'aube ne seront plus sollicitées en flexion mais seulement en traction pure (efforts centrifuges).

La figure 2 représente les différentes étapes d'un procédé selon l'invention pour optimiser le profil de l'aube. Ces étapes sont mises en œuvre au moyen d'un logiciel de calcul adéquat. Elles comprennent des étapes de compensation de la pale de l'aube et des étapes de compensation de l'échasse de l'aube. Un exemple d'application de ce procédé sera décrit ultérieurement.

Selon une première étape E100 du procédé, les valeurs relatives au profil géométrique de l'aube, ses dimensions et sa masse sont entrées dans le logiciel de calcul.

Pour réaliser la compensation de la pale de l'aube, celle-ci est d'abord divisée géométriquement selon l'axe radial Z en plusieurs tranches T, chaque tranche de pale T étant délimitée entre une section d'aube inférieure et une section d'aube supérieure (étape E110). Par exemple, on choisira dix tranches T s'étendant chacune sur 10% de la distance radiale totale séparant le talon de la plateforme de l'aube.

A chaque tranche de pale ainsi définie, sont associés une masse M_T de la tranche et des coordonnées (C_X, C_Y, C_Z) du centre de gravité de cette tranche dans le repère orthogonal (O,X,Y,Z) préalablement défini.

Pour chaque tranche de pale T et pour le régime de rotation prédéterminé ω du disque de la roue, la force centrifuge F_C à laquelle est soumise la tranche est alors calculée (étape E120). Ce calcul est donné par l'équation suivante :

$$F_C = M_T \times R_{CDG} \times \omega^2$$

où R_{CDG} représente la distance entre l'axe de rotation du disque et le centre de gravité de la tranche de pale (c'est-à-dire que R_{CDG} correspond à la valeur de C_Z).

Parallèlement à cette étape E120, le moment $M_{faéro}$ des efforts aérodynamiques s'exerçant sur la section inférieure de cette même tranche de pale T, et plus précisément les composantes $M_{X-faéro}$ selon la direction longitudinale et $M_{Y-faéro}$ selon la direction tangentielle de ce moment, est calculé (étape E130). Ce calcul est réalisé à partir des efforts aérodynamiques calculés avec un logiciel adéquat et de la distance entre le centre de poussée aérodynamique de la tranche étudiée et la section inférieure de cette tranche.

A partir de ces données F_C , $M_{X\text{-faéro}}$ et $M_{Y\text{-faéro}}$, des valeurs de déplacements à appliquer aux coordonnées (C_X, C_Y, C_Z) du centre de gravité de la tranche de pale T en question peuvent être calculées au cours d'une étape E140.

- 5 Plus précisément, ces valeurs de déplacement sont calculées de sorte à compenser (c'est-à-dire annuler) le moment $M_{\text{faéro}}$ des efforts aérodynamiques s'exerçant sur la section inférieure de la tranche de pale T et sont obtenues par les équations suivantes :

$$\begin{aligned} \delta_X &= M_{Y\text{-faéro}} / F_C \\ \delta_Y &= M_{X\text{-faéro}} / F_C \end{aligned}$$

- 10 où δ_X et δ_Y sont les valeurs de déplacement à appliquer aux coordonnées C_X et C_Y , respectivement, du centre de gravité de la tranche de pale T.

- A l'étape suivante E150, on calcule alors les coordonnées modifiées (C'_X, C'_Y, C'_Z) dans le repère (O, X, Y, Z) pour le centre de gravité de la tranche de pale T à l'aide des formules suivantes :

$$\begin{aligned} C'_X &= C_X + \delta_X \\ C'_Y &= C_Y + \delta_Y \\ C'_Z &= C_Z \end{aligned}$$

- Les étapes E120 à E150 énumérées ci-dessus sont répétées pour l'ensemble des tranches de pale T, en partant de la tranche supérieure (c'est-à-dire celle située au voisinage du talon de l'aube) et en descendant jusqu'à la tranche inférieure (c'est-à-dire celle située au voisinage de la plateforme). A l'issue de ces étapes, on obtient des coordonnées modifiées pour les centres de gravité de l'ensemble des tranches de pale. Le profil de la pale est ainsi optimisé pour une phase de vol prédéfinie.

- De façon avantageuse, une étape supplémentaire E160 consiste à lisser l'ensemble des coordonnées modifiées (C'_X, C'_Y, C'_Z) ainsi obtenus sur toute la hauteur de la pale. Cette opération peut être réalisée par toute méthode de lissage de valeurs connue en soi. Elle permet d'obtenir un alignement des centres de gravité des différentes tranches de pale sur une courbe qui ne pénalisera pas les performances aérodynamiques de la pale.

- Suite à ces étapes, la compensation de l'échasse de l'aube est réalisée de manière analogue. Une première étape E200 consiste à calculer la force centrifuge F'_C à laquelle est soumise la portion P de l'aube constituée de la pale, de la plateforme et de l'échasse (c'est-à-dire tout ce

qui est au-dessus du col de l'aube). Cette force centrifuge F'_C est donnée par la formule suivante :

$$F'_C = M_p \times R'_{CDG} \times \omega^2$$

avec : M_p pour la masse de la portion P de l'aube, R'_{CDG} pour la distance entre l'axe de rotation du disque et le centre de gravité de cette portion P de l'aube ; et ω pour la vitesse de rotation disque au régime prédéterminé.

On notera que si l'aube comprend un talon muni de lécettes (comme celle illustrée par la figure 1), la portion P de l'aube sera constituée de tout ce qui se situe au-dessus du col de l'aube, à savoir la pale, l'échasse, la plateforme, le talon et ses lécettes.

Le moment $M'_{faéro}$ de la force aérodynamique s'exerçant sur la section inférieure de l'échasse de l'aube, et plus précisément les composantes $M'_{X-faéro}$ selon la direction longitudinale et $M'_{Y-faéro}$ selon la direction tangentielle de ce moment, est calculé (étape E210). Ce calcul est réalisé à l'aide du logiciel de calcul de manière analogue à la modélisation décrite à l'étape E130.

A partir de ces données F'_C , $M'_{X-faéro}$ et $M'_{Y-faéro}$, des valeurs de déplacements δ'_X , δ'_Y à appliquer aux coordonnées du centre de gravité de l'échasse de l'aube peuvent être calculés au cours d'une étape E220. Ces valeurs de déplacement sont calculées de sorte à compenser le moment $M'_{faéro}$ des efforts aérodynamiques et sont obtenues par les équations suivantes :

$$\begin{aligned} \delta'_X &= M'_{Y-faéro} / F'_C \\ \delta'_Y &= M'_{X-faéro} / F'_C \end{aligned}$$

A partir de ces valeurs de déplacement et des coordonnées des centres de gravité de l'échasse de l'aube et des différentes tranches T de pale précédemment calculés, on calcule alors au cours de l'étape E230 les coordonnées modifiées pour le centre de gravité de la portion P de l'aube située au-dessus du col de façon identique à l'étape E150.

Exemple d'application

Dans cet exemple, l'aube est une aube de turbine basse pression de turbomachine réalisée en CMC.

Pour réaliser la compensation de la pale d'une telle aube, celle-ci est divisée géométriquement en dix tranches de pale s'étendant

chacune sur 10% de la hauteur radiale totale séparant le talon de la plateforme de l'aube.

- Le tableau ci-dessous donne les valeurs de déplacement à appliquer aux coordonnées du centre de gravité de la tranche de pale située entre 90% et 100% de la hauteur radiale totale de la pale lors de la compensation de pale (étapes E100 à E160). Cette tranche est la tranche supérieure qui est située directement au voisinage du talon de l'aube.

Compensation de la tranche de pale située entre 90% et 100%

$M_{\text{faéro}}$ (en N.mm)	$M_{X\text{-faéro}}$	106,8
	$M_{Y\text{-faéro}}$	132,1
Masse de la tranche de pale (en g)		2,72
Masse du talon de l'aube		15
Régime de rotation prédéterminé ω (en tours/mn)		4000
F_c (en N)		1739
Valeurs de déplacement à appliquer au CDG de la tranche de pale (en mm)	δ_x	0,076
	δ_y	0,061
Moment généré dans la section inférieure de la tranche par le déplacement du CDG de la tranche (en N.mm)	selon direction X	-106,8
	selon direction Y	-132,1

10

Ainsi, pour la tranche de pale située entre 90% et 100% de la hauteur radiale totale de la pale, la position du centre de gravité de cette tranche de pale devra être déplacée (par rapport à ses coordonnées d'origine) de +0,061mm selon la direction X et de +0,076mm selon la direction Y.

15

On notera que pour cette tranche supérieure située entre 90% et 100% de la hauteur totale de la pale, la masse du talon située au-dessus d'elle est pris en compte pour le calcul de la force centrifuge s'appliquant sur celle-ci (en plus de la masse de la tranche). De même, le calcul de la position du centre de gravité de cette tranche prend en compte la présence de ce talon.

20

Les valeurs de déplacement à appliquer aux autres tranches de pale seront calculées de la même façon et ne seront donc pas détaillées ici. En particulier, on calculera ces valeurs de déplacement pour la tranche de pale située entre 80% et 90% de la hauteur radiale totale de la pale, puis pour la tranche située entre 70% et 80%, puis pour la tranche située

25

entre 60% et 70%, etc. jusqu'à la dernière tranche située entre 0% et 10%.

- 5 Pour cette même aube, le tableau ci-après donne les valeurs de déplacement à appliquer aux coordonnées du centre de gravité de la portion P de l'aube constituée de la pale, de la plateforme, de l'échasse et du talon (c'est-à-dire tout ce qui est au-dessus du col) lors de la compensation de l'échasse (étapes E200 à E230).

Compensation de la portion P de l'aube au-dessus du col

$M'_{\text{faéro}}$ (en N.mm)	$M'_{X\text{-faéro}}$	12931
	$M'_{Y\text{-faéro}}$	18560
Masse de la portion P de l'aube (en g)		92,97
Régime de rotation prédéterminé ω (en tours/mn)		4000
F'_c (en N)		7483
Valeurs de déplacement à appliquer au CDG de la portion P de l'aube (en mm)	δ'_x	2,48
	δ'_y	1,73
Moment généré dans le col par le déplacement du CDG de la portion P de l'aube (en N.mm)	selon direction X	-12931
	selon direction Y	-18560

10

- Ainsi, pour la portion P de l'aube constituée de la pale, de la plateforme, de l'échasse et du talon, la position du centre de gravité de cette portion de l'aube devra être déplacée (par rapport à ses coordonnées d'origine) de +1,73mm selon la direction X et de +2,48mm selon la direction Y.
- 15

- On notera que ces compensations de pale et de la portion d'aube située au-dessus du col sont calculées pour un régime de rotation prédéterminé de la roue, c'est-à-dire pour une phase de vol particulière. Il est possible d'effectuer de tels calculs pour plusieurs régimes de rotation
- 20
- prédéterminés (et donc plusieurs phases de vol) et d'effectuer une moyenne pour l'ensemble des données obtenues.

REVENDEICATIONS

1. Procédé d'optimisation du profil d'une aube en matériau composite pour roue mobile de turbomachine, l'aube comprenant une pale constituée d'une pluralité de sections d'aubes empilées selon une direction radiale à la roue, un pied destiné à être monté sur un disque de la roue et prolongé par une échasse, et une plateforme située entre l'échasse et la pale, le pied se raccordant à l'échasse par un col, le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :
 - une étape de compensation de la pale de l'aube consistant à diviser la pale en des tranches délimitées chacune entre une section inférieure et une section supérieure (E110), et pour chaque tranche de pale et un régime de rotation prédéterminé du disque de la roue, calculer la force centrifuge (F_C) à laquelle est soumise la tranche (E120), calculer le moment de la force aérodynamique s'exerçant sur la section inférieure de la tranche (E130), et calculer des valeurs de déplacements (E140) à appliquer à un centre de gravité de la tranche selon des directions tangentielle et longitudinale pour annuler le moment de la force aérodynamique s'exerçant sur la section inférieure de ladite tranche ; et
 - une étape de compensation de l'échasse de l'aube consistant à calculer la force centrifuge (F'_C) à laquelle est soumise une portion de l'aube située au-dessus du col et constituée de la pale (E200), de la plateforme et de l'échasse, calculer le moment de la force aérodynamique s'exerçant sur une section inférieure de l'échasse de l'aube (E210), et calculer des valeurs de déplacements (E220) à appliquer à un centre de gravité de l'échasse de l'aube selon les directions tangentielle et longitudinale pour annuler le moment de la force aérodynamique s'exerçant sur la section inférieure de l'échasse de l'aube.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel les valeurs de déplacements à appliquer aux centres de gravité des tranches de pale et à l'échasse de l'aube sont lissées sur toute la hauteur de l'aube (E160).
3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel la force centrifuge (F_C) à laquelle est soumise une tranche de pale est donnée par la formule suivante :

$$F_C = M_T \times R_{CDG} \times \omega^2$$

avec : M_T pour la masse de la tranche de pale, R_{CDG} pour la distance entre l'axe de rotation du disque et le centre de gravité de la tranche de pale ; et ω pour la vitesse de rotation disque au régime prédéterminé.

- 5 4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel les valeurs de déplacements (δ_x , δ_y) à appliquer au centre de gravité d'une tranche de pale sont données par les formules suivantes :

$$\delta_x = M_{Y\text{-faéro}} / F_c$$

$$\delta_y = M_{X\text{-faéro}} / F_c$$

- 10 avec : $M_{X\text{-faéro}}$ pour la composante du moment de la force aérodynamique s'exerçant sur la section inférieure de la tranche selon la direction longitudinale ; $M_{Y\text{-faéro}}$ pour la composante du moment de la force aérodynamique s'exerçant sur la section inférieure de la tranche selon la direction tangentielle ; et F_c pour la force centrifuge à laquelle est soumise
15 la tranche.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans laquelle les valeurs de déplacements (δ'_x , δ'_y) à appliquer au centre de gravité de l'échasse de l'aube sont données par les formules suivantes :

20 $\delta'_x = M'_{Y\text{-faéro}} / F'_c$

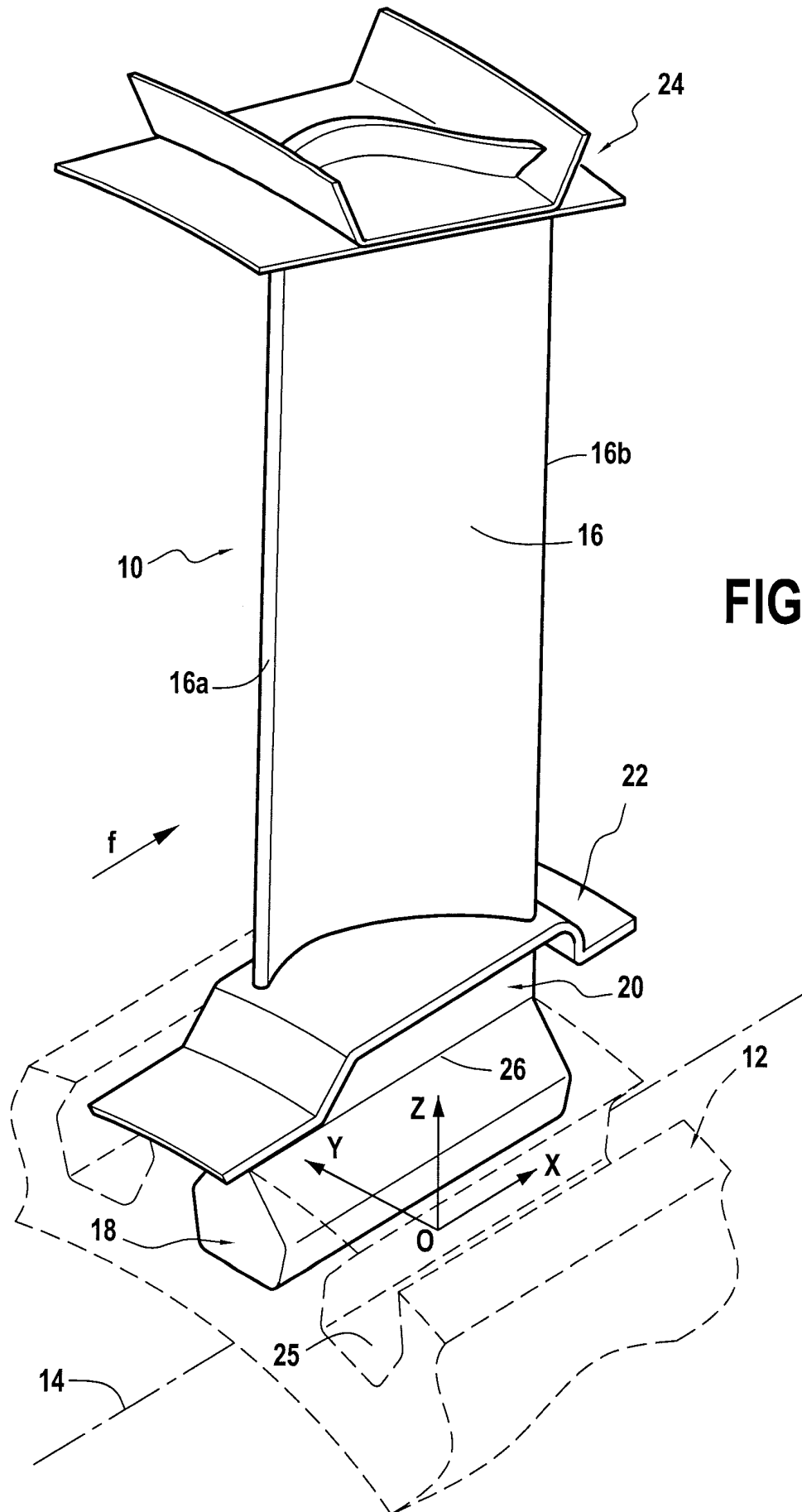
$$\delta'_y = M'_{X\text{-faéro}} / F'_c$$

- avec : $M'_{X\text{-faéro}}$ pour la composante du moment de la force aérodynamique s'exerçant sur la section inférieure de l'échasse de l'aube selon la direction longitudinale ; $M'_{Y\text{-faéro}}$ pour la composante du moment de la force
25 aérodynamique s'exerçant sur la section inférieure de l'échasse de l'aube selon la direction tangentielle ; et F'_c pour la force centrifuge à laquelle est soumise la portion de l'aube située au-dessus du col.

- 30 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans laquelle l'aube comprend en outre un talon au voisinage de l'extrémité libre de la pale, l'étape de compensation de l'échasse s'appliquant à une portion de l'aube constituée de la pale, de la plateforme, de l'échasse et du talon de l'aube.

- 35 7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel, dans l'étape de compensation de la pale de l'aube, la pale est divisée en dix tranches s'étendant chacune sur 10% de la hauteur totale de la pale.

1/2



2/2

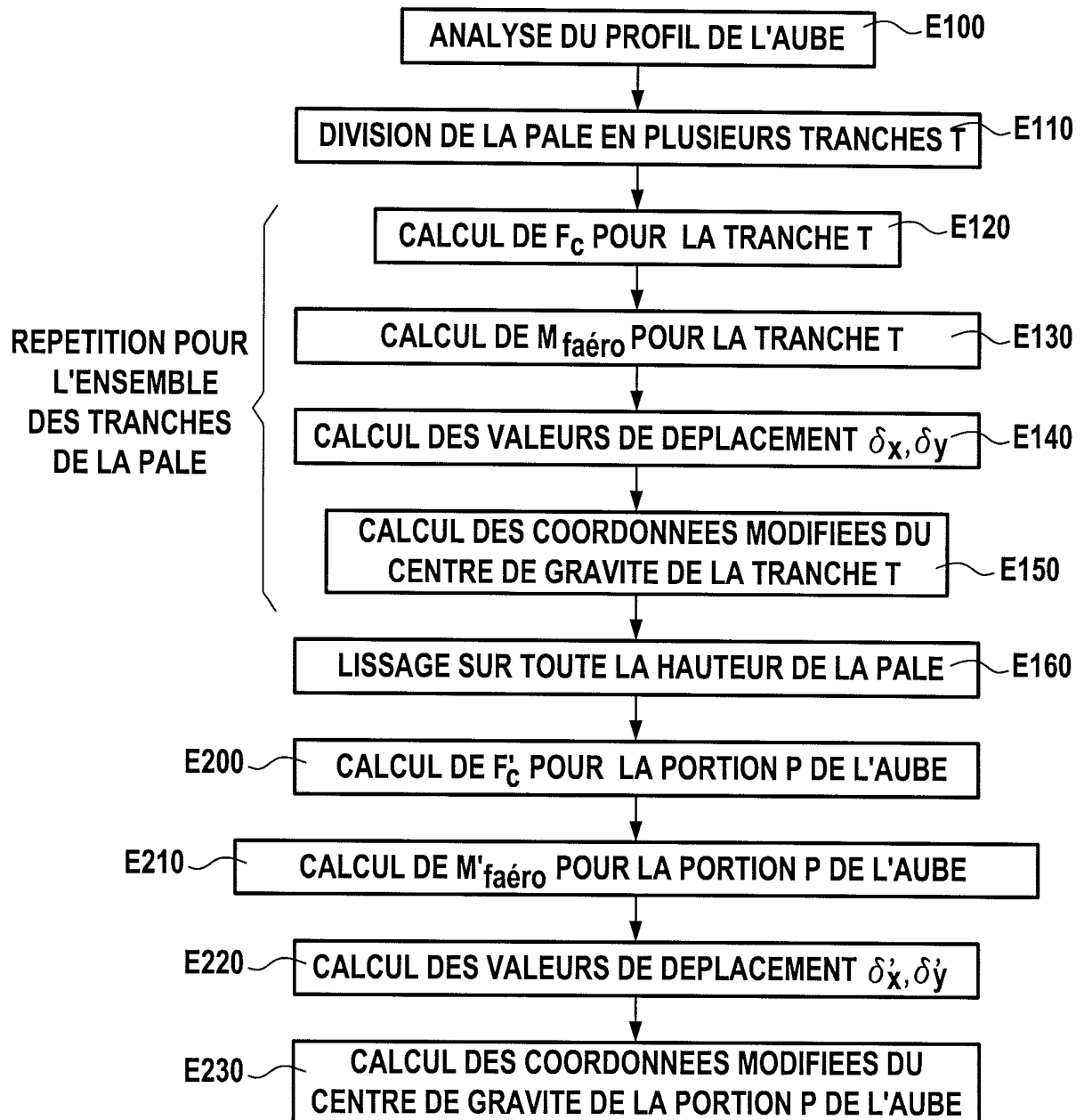


FIG.2



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 746492
FR 1059292

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	US 4 012 172 A (SCHWAAR PIERRE G ET AL) 15 mars 1977 (1977-03-15) * colonne 5, ligne 22 - colonne 6, ligne 64 * * figures 5-7 *	1-7	F01D5/14
A	EP 1 939 458 A1 (BORG WARNER INC [US]) 2 juillet 2008 (2008-07-02) * alinéas [0014], [0020], [0036] - [0039] * * figure 6 *	1-7	
A	US 4 585 395 A (NOURSE JOHN G [US] ET AL) 29 avril 1986 (1986-04-29) * le document en entier *	1-7	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			F01D
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
16 juin 2011		de la Loma, Andrés	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1059292 FA 746492**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **16-06-2011**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 4012172	A	15-03-1977	AUCUN
EP 1939458	A1	02-07-2008	AUCUN
US 4585395	A	29-04-1986	CA 1216524 A1 13-01-1987
		JP 1704849 C 27-10-1992	
		JP 3070083 B 06-11-1991	
		JP 60178902 A 12-09-1985	