

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

(11) Nº de publication : **3 014 943**  
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)  
(21) Nº d'enregistrement national : **13 62927**  
(51) Int Cl<sup>8</sup> : **F 01 D 5/14 (2014.01), F 04 D 29/54, F 04 D 29/68**

(12)

## BREVET D'INVENTION

**B1**

(54) PIÈCE DE TURBOMACHINE A SURFACE NON-AXISYMETRIQUE.

(22) Date de dépôt : 18.12.13.

(30) Priorité :

(43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 19.06.15 Bulletin 15/25.

(45) Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention : 29.03.19 Bulletin 19/13.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche :

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

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

(72) Inventeur(s) : MANIERE VIANNEY, CHRISTOPHE, MARIE, VOLLEBREGT MATTHIEU, JEAN LUC, LOUPY GAETAN, JEAN, MARIE et MAUCLAIR PAUL, HENRI, JOSEPH.

(73) Titulaire(s) : SAFRAN AIRCRAFT ENGINES Société anonyme.

(74) Mandataire(s) : CABINET REGIMBEAU Société civile.



## DOMAINE TECHNIQUE GENERAL

La présente invention concerne une pièce de turbomachine comprenant des pales et une plateforme présentant une surface non-axisymétrique.

## ETAT DE L'ART

La nécessité d'amélioration constante des performances des équipements, en particulier aéronautiques, par exemple des rotors de turboréacteurs (c'est-à-dire l'ensemble formé d'un moyeu sur lequel sont fixées des aubes s'étendant radialement, tel que visible sur la **figure 1**), a aujourd'hui imposé l'utilisation d'outils informatiques de modélisation.

Ces outils permettent d'aider à concevoir des pièces en optimisant de façon automatisée certaines de leurs caractéristiques par l'exécution d'un grand nombre de calculs de simulation.

La recherche d'un optimum géométrique aéromécanique et/ou acoustique sur les rotors ou stators conduit aujourd'hui à l'obtention de moyeux présentant une paroi localement non-axisymétrique (c'est-à-dire qu'une coupe selon un plan perpendiculaire à l'axe de rotation n'est circulaire) au niveau de la veine, c'est-à-dire l'ensemble des canaux entre les aubes pour l'écoulement de fluide (en d'autres termes les sections inter-aubes), au vu des conditions particulières qui y règnent. La veine non-axisymétrique définit une surface globalement annulaire d'un espace tridimensionnel (une « tranche » du moyeu).

Toutefois, on constate que ces géométries restent perfectibles, en particulier au niveau des étages de compresseur de la turbomachine. En effet, les raccords pale/paroi restent le siège d'écoulements secondaires (et donc de pertes importantes dans les étages de compresseur), du fait de la proximité de la paroi sur laquelle une couche limite importante se développe depuis l'amont du compresseur, et du gradient de pression établi de l'extrados d'une pale vers l'intrados de la pale adjacente.

La combinaison de ces éléments génère une remontée de fluide à faible énergie sur l'extrados de chaque pale et se traduit en aval par des tourbillons importants, sources de pertes. On observe aussi une sur-déviation proche paroi et une sous-déviation au-dessus.

5

Il serait souhaitable de disposer d'une nouvelle géométrie permettant de corriger ces problèmes afin d'améliorer les performances en termes de rendement des équipements, mais sans dégrader ni l'opérabilité et ni la tenue mécanique.

10

## PRESENTATION DE L'INVENTION

La présente invention propose ainsi une pièce ou ensemble de pièces de turbomachine comprenant au moins des première et deuxième pales, et une plateforme à partir de laquelle s'étendent les pales, caractérisée en ce que la plateforme présente entre l'intrados de la première pale et l'extrados de la deuxième pale une surface non axisymétrique définissant au moins une ailette à section sensiblement triangulaire s'étendant en aval d'un bord d'attaque de chacune des pales, l'aillette présentant une largeur comprise entre 5% et 20% de la distance entre l'intrados de la première pale et l'extrados de la deuxième pale.

La ou les ailettes de cette géométrie particulière non-axisymétrique de la surface de la pièce préviennent le décollement aérodynamique. L'opérabilité des étages de compresseur et le rendement en sont d'autant améliorés.

Selon d'autres caractéristiques avantageuses et non limitatives :

- l'aillette présente un ratio hauteur sur largeur compris entre 0.3 et 1.3 ;
- l'aillette présente une hauteur comprise entre 1 mm et 25 mm ;
- l'aillette présente une trace correspondant à la ligne moyenne de squelettes des première et deuxième pales ;

- l'ailette est associée à une position d'attaque et une position de fuite sur la surface, entre lesquelles l'ailette s'étend, telles que :
  - la position d'attaque est située à entre 5% et 35% de longueur relative d'une corde de pale s'étendant d'un bord d'attaque à un bord de fuite de la pale, et
  - la position de fuite située à entre 50% et 105% de longueur relative de ladite corde de pale ;
- les positions d'attaque et de fuite associée à l'ailette sont chacune situées à une distance de l'extrados de la deuxième pale comprise entre 10 10% et 55% de la distance entre l'intrados de la première pale et l'extrados de la deuxième pale ;
- la surface définit deux ou trois ailettes côté à côté, telles que plus une ailette est éloignée de l'extrados de la deuxième pale, plus la position d'attaque de ladite ailette est axialement éloignée du bord d'attaque des pales ;
- la surface définit une unique ailette ;
- la plateforme comprend une première partie de plateforme à partir de laquelle s'étend la première pale et une deuxième partie de plateforme à partir de laquelle s'étend la deuxième pale, un raccord entre lesdites première et deuxième parties de plateforme formant l'ailette ;
- la surface est limitée par un premier et un deuxième plan extrémal, la surface étant définie par au moins une courbe de construction de classe C<sup>1</sup> représentant chacune la valeur d'un rayon de ladite surface en fonction d'une position entre l'intrados de la première pale et l'extrados de la deuxième pale selon un plan sensiblement parallèle aux plans extrémaux disposé entre la position d'attaque et la position de fuite de l'ailette ;
- chaque courbe de construction a été modélisée via la mise en œuvre par des moyens de traitement de données d'étapes de :
  - (a) Paramétrisation de la courbe de construction en tant que courbe de classe C<sup>1</sup> représentant la valeur du rayon de ladite surface en fonction

d'une position entre l'intrados de la première pale et l'extrados de la deuxième pale, la courbe étant définie par :

- Deux points de contrôle extrémaux, respectivement sur chacune des deux pales entre lesquelles ladite surface s'étend ;
- Au moins un point de contrôle intermédiaire situé entre les points de contrôle extrémaux ;
- Au moins une spline ;

la paramétrisation étant mise en œuvre selon un ou plusieurs paramètres définissant au moins un des points de contrôle ;

- 10 (b) Détermination de valeurs optimisées desdits paramètres de ladite courbe.
- la plateforme présente une forme annulaire le long de laquelle sont régulièrement disposées une pluralité de pales ;
  - la plateforme présente la même surface non-axisymétrique entre chaque paire de pales consécutives ;
  - la pièce est une roue à aubes ou un redresseur de compresseur.

15 Selon un deuxième aspect, l'invention concerne une turbomachine comprenant une pièce selon le premier aspect.

## PRESENTATION DES FIGURES

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre d'un mode de réalisation préférentiel. Cette description sera donnée en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 précédemment décrite représente un exemple de turbomachine ;
- les figures 2 et 3 représentent deux modes de réalisation préférés d'une pièce selon l'invention ;

- la figure 4 représente schématiquement la géométrie du mode de réalisation de la figure 2 ;
- la figure 5 représente schématiquement un autre mode de réalisation d'une pièce selon l'invention ;
- 5 - les figures 6a-6c représentent des résultats d'observation des lignes de courant et de frottement pour trois géométries.

## DESCRIPTION DETAILLEE

10 En référence aux **figures 2 et 3**, la présente pièce 1 (ou ensemble de pièces si elle n'est pas monobloc) de turbomachine présente au moins deux pales consécutives 3E, 3I et une plateforme 2 à partie de laquelle s'étendent les pales 3E, 3I. Le terme plateforme est ici interprété au sens large et désigne de façon générale tout élément d'une turbomachine sur lequel des pales 3E, 3I sont aptes à être montées (en s'étendant radialement) et présentant une paroi interne/externe contre laquelle l'air circule.

15 En particulier, la plateforme 2 peut être monobloc (et ainsi supporter l'ensemble des pales de la pièce 1), ou formée d'une pluralité d'organes élémentaires chacun supportant une unique pale 3E, 3I (un « pied » de la pale) de sorte à constituer une aube du type de celle représentée par la figure 3. En particulier, la plateforme 2 peut comprendre une partie de plateforme 2I, 2E pour chacune des pales 3E, 3I dans un mode de réalisation avantageux qui sera décrit plus loin.

20 En outre, la plateforme 2 peut délimiter une paroi radialement intérieure de la pièce 1 (le gaz passe autour) en définissant un moyeu, et/ou bien une paroi radialement extérieure de la pièce 1 (le gaz passe à l'intérieur, les pales 3I, 3E s'étendent vers le centre) en définissant alors un carter de la pièce 1. Il est à noter qu'une même pièce 1 peut comprendre simultanément ces deux types de plateforme 2. On comprendra que comme expliqué la pièce 1 peut être de nombreux types, notamment un étage de rotor (DAM (« Disque Aubagé Monobloc »), ou roue à aubes, selon le

caractère intégral ou non de l'ensemble) ou un étage de stator (redresseur fixe, ou à aubes mobiles VSV (« Variable Stator Vane »)), en particulier au niveau de l'entrée du flux secondaire (redresseur OGV, « Outlet Guide Vane »), voir figure 1 déjà introduite.

5        Dans la suite de la présente description, on prendra à ce titre l'exemple d'un étage d'OGV, mais l'homme du métier saura transposer aux autres types de pièces 1 (par exemple à un « fan », en d'autres termes une soufflante, ou à un étage du compresseur Basse Pression).

#### 10      *Surface de plateforme*

La présente pièce 1 se distingue par une géométrie particulière (non-axisymétrique) d'une surface S d'une plateforme 2 de la pièce 1, dont on observe un exemple de modélisation avantageuse sur les figures 2 et 3.

15       La surface S s'étend entre deux pales 3E, 3I (dont une seule est visible sur chacune des figures 2 et 3 pour mieux observer la surface S. On repère néanmoins la trace de la pale manquante dans chaque cas), qui la limitent latéralement.

20       La surface S est en effet une partie d'une surface plus importante définissant une forme sensiblement torique autour de la pièce 1. Dans l'hypothèse (mais non limitative) d'une périodicité dans la circonférence de la pièce 1 (c'est-à-dire si les pales 3E, 3I sont identiques et réparties uniformément), la paroi est constituée d'une pluralité de surfaces identiques dupliquées entre chaque couple de pales 3E, 3I.

25       Les surfaces S' également visibles sur les figure 2 et 3 sont ainsi une duplication de la surface S.

Toujours sur cette figure, est visible un trait partageant chacune des surfaces S et S' en deux moitiés. Cette structure correspond à un mode de réalisation dans lequel la plateforme 2 est composée d'une pluralité 30 d'organes élémentaires chacun étant un pied supportant une pale 3E, 3I avec laquelle il forme une aube. Chacun de ces pieds de pale (nommés « parties de plateformes » dans la suite de la présente description) s'étend

ainsi de part et d'autres de la pale 3E, 3I, d'où le fait que la surface S comprend des surfaces juxtaposées associées à deux pieds de pale distincts. La pièce 1 est alors un ensemble d'au moins deux aubes (ensemble pale/pied de pale) juxtaposées. On parle de plateformes 5 « intégrées », par opposition à des plateformes « rapportées », c'est-à-dire indépendantes des pales (la surface S peut alors être constituée d'un seul élément). On comprendra que la présente invention n'est limitée à aucune structure particulière la plateforme 2.

La surface S est limitée en amont par un premier plan extrémal, le 10 « Plan de séparation » PS et en aval par un deuxième plan extrémal, le « Plan de raccord » PR, qui définissent chacun un contour axisymétrique, continu et de dérivée continue (la courbe correspondant à l'intersection entre chacun des plans PR et PS et la surface de la pièce 1 dans son ensemble est fermée et forme une boucle). La surface S présente une 15 forme sensiblement parallélogrammique et s'étend continument entre les deux plans extrémaux PS, PR, et les deux pales 3E, 3I d'un couple de pales consécutives. L'une des pales de ce couple de pales est la première pale 3I, ou pale d'intrados. Elle présente en effet son intrados à la surface S. L'autre pale est la deuxième pale 3E, ou pale d'extrados. Elle présente en 20 effet son intrados à la surface S. Chaque « deuxième pale » 3E est la « première pale » 3I d'une surface voisine telle que la surface S' dans la figure 2 (puisque chaque pale 3E, 3I présente un intrados et un extrados).

La surface S est avantageusement définie par des courbes de construction PC, appelées également « Plans de construction ». Chaque 25 courbe de construction PC est une courbe de classe C<sup>1</sup> représentant la valeur d'un rayon de ladite surface S en fonction d'une position entre l'intrados de la première pale 3I et l'extrados de la deuxième pale 3E selon un plan sensiblement parallèle aux plans extrémaux PS, PR.

Par rayon on entend la distance entre un point de la surface et l'axe 30 de la pièce 1. Une surface axisymétrique présente ainsi un rayon constant.

Une courbe de construction PC est typiquement une spline, c'est à dire une courbe polynomiale paramétrique, parmi lesquelles on peut citer préférentiellement les courbes de Bézier

## 5 Ailette

La surface S non-axisymétrique de la présente pièce est remarquable en ce qu'elle définit au moins une ailette 4 à section sensiblement triangulaire s'étendant en aval d'un bord d'attaque (BA) de 10 chacune des pales 3I, 3E, l'ailette 4 présentant une largeur comprise entre 5% et 20% de la distance entre l'intrados de la première pale 3I et l'extrados de la deuxième pale 3E. Il peut y avoir une, deux ou trois ailettes 4 sur la veine (la figure 2 représente une solution à une ailette 4, et la figure 3 une solution à deux ailettes 4, les différentes possibilités seront décrites plus 15 loin).

Le fait de disposer des ailettes entre deux pales d'une pièce est connu (voir par exemple les demandes de brevets EP1927723, JP6022002, US4023350). Mais les ailettes connues sont généralement des « lamelles » plates. En effet ces ailettes connues (qui sont en général nombreuses) n'ont 20 pour rôle que d'agir comme barrière pour le flux incident, et générer des tourbillons.

Les présentes ailettes 4 visent à améliorer la déviation du flux incident, et à éviter la remontée de fluide le long de l'extrados. Par là, les ailettes 4 améliorent le rendement et l'opérabilité d'un étage de 25 compresseur, et préparent un fluide plus propre/homogène pour les étages qui suivent.

En particulier, il apparaît une hausse de la vorticité au bord d'attaque des présentes ailettes 4, mais plus en aval la réduction du tourbillon de passage l'emporte et l'intensité des vortex diminue de jusqu'à 6%. L'ajout 30 d'au moins une ailette 4 diminue ainsi le décollement au niveau du bord de fuite. C'est la conséquence directe de l'effet de redressement des ailettes sur l'écoulement au niveau de la couche limite. Moins d'énergie vient

percuter l'extrados de la deuxième pale 3E, ainsi les lignes de courant peuvent plus difficilement monter. La hauteur de décollement peut être réduite de moitié (voir plus loin pour la comparaison de différents modes de réalisation).

5 Dans tous les cas, les ailettes 4 présentent une section sensiblement triangulaire, c'est-à-dire qu'elles présentent deux faces obliques se rejoignant sur une arête dorsale, soit par un angle, soit par un raccord tangent. Les deux faces elles-mêmes se raccordent à la veine (reste de la surface S) soit par un angle soit par un raccord tangent. Chaque ailette 4  
10 peut en outre présenter des extrémités biseautées telles qu'on le voit sur les figures 2 et 3.

De façon préférée, chaque ailette 4 présente une trace (c'est-à-dire une trajectoire) correspondant à la ligne moyenne de squelettes des première et deuxième pales 3I, 3E. Le plus souvent, toutes les pales ont le  
15 même squelette, c'est pourquoi toutes les ailettes 4 et pales 3I, 3E présentent une courbure similaire, mais on comprendra que l'invention n'est pas limitée à ce cas.

Cela apparaît en particulier à la **figure 4** (les squelettes des pales 3I,  
3E et la trace de l'ailette 4 sont les lignes médianes représentées pour  
20 chacun des éléments).

Il est à noter que les ailettes 4 offrent un autre avantage : elles peuvent être utilisées comme échangeur thermique pour faciliter le refroidissement de la pièce 1.

## 25 *Dimensions et position*

Comme expliqué la ou les ailettes 4 présentent une largeur comprise entre 5% et 20% (préférentiellement entre 10% et 15%) de la distance entre l'intrados de la première pale 3I et l'extrados de la deuxième pale 3E. La  
30 largeur considérée ici est la largeur maximale de la base de l'ailette 4 (qui est sensiblement constante, hormis au niveau des biseaux d'attaque et de fuite). Cette largeur et la distance entre l'intrados de la première pale 3I et

l'extrados de la deuxième pale 3E s'apprécient préférentiellement selon des plans parallèles aux plans extrémaux PS, PR (en d'autres termes selon les courbes de constructions mentionnées précédemment), lesquels sont visibles sur les figures 2 et 3, et représentés verticalement sur la figure 4.

5 De façon préférée, chaque ailette 4 présente un ratio hauteur sur largeur compris entre 0.3 et 1.3, ce qui aux dimensions classiques des étages de compresseurs donne une hauteur comprise entre 1 mm et 25 mm.

10 Chaque ailette 4 est en particulier définie par deux points extrémaux : une position d'attaque et une position de fuite sur la surface S, entre lesquelles l'ailette 4 s'étend (en particulier en suivant le squelette des pales 3I, 3E).

15 La position d'attaque est définie dans le référentiel de la figure 4 par des coordonnées  $X_{BA}$  et  $Y_{BA}$ , et la position de fuite par des coordonnées  $X_{BF}$  et  $Y_{BF}$ . Ces coordonnées sont respectivement une coordonnée axiale et une coordonnée azimutale de la position.

20 La première coordonnée X désigne une position (axiale) le long d'une corde de pale 3I, 3E s'étendant d'un bord d'attaque BA à un bord de fuite BF de la pale 3I, 3E, exprimée en longueur relative (en d'autres termes, à  $X=0$  correspond à un alignement sur les bords d'attaque BA et  $X=1$  correspond à un alignement avec les bords de fuite BF des pales 3I, 3E).

Et de façon préférée, ces positions sont telles que :

- la position (axiale) d'attaque est située à entre 5% et 35% (préférentiellement entre 15% et 25%) de longueur relative de la corde de pale 3I, 3E (i.e.  $X_{BA} \in [0.05, 0.35]$ ), et
- la position (axiale) de fuite située à entre 50% et 105% (préférentiellement entre 70% et 85%) de longueur relative de la corde de pale 3I, 3E (i.e.  $X_{BF} \in [0.5, 1.05]$ ).

30 On note que l'ailette 4 n'est pas forcément comprise entre les bords d'attaque BA et de fuite BF des pales 3I, 3E et peut s'étendre axialement en aval du bord de fuite BF.

La deuxième coordonnée  $Y$  désigne une position (azimutale) le long d'une largeur de canal s'étendant de l'extrados de la deuxième pale 3E à l'intrados de la première pale 3I, exprimée en longueur relative (en d'autres termes, à  $Y=0$  correspond à un point contre l'extrados de la deuxième pale 5 3E et  $Y=1$  correspond à un point contre l'intrados de la première pale 3I).

Et de façon préférée, ces positions sont telles chacune des positions d'attaque et de fuite associées à l'ailette 4 est située à une distance de l'extrados de la deuxième pale 3E comprise entre 10% et 55% de la largeur de canal (i.e.  $Y_{BA}, Y_{BF} \in [0.1, 0.55]$ ). La ou les ailettes 4 peuvent donc être 10 centrées dans la veine, mais sont préférentiellement plus proche de l'extrados de la deuxième pale 3E.

#### *Nombre d'ailettes*

15 Selon un mode de réalisation illustré par les figures 2 et 4, la surface  $S$  peut définir une unique ailette 4, qui peut être disposée au milieu de la veine (positions d'attaque et de fuite associées à l'ailette 4 situées à une distance de l'extrados de la deuxième pale 3E à environ 50% de la largeur de canal).

20 Dans le cas d'une telle unique ailette 4 centrée, il est possible d'utiliser la structure de la plateforme 2 pour reconstituer cette ailette 4. Ainsi, si la plateforme 2 comprend une première partie de plateforme 2I à partir de laquelle s'étendent la première pale 3I et une deuxième partie de plateforme 2E à partir de laquelle s'étendent la deuxième pale 3E, le 25 raccord entre les deux parties 2I, 2E de la plateforme 2 peut être prévu pour correspondre à la trace de l'ailette 4.

Un joint inter-plateforme protubérant de forme adaptée peut alors former l'ailette (comme on le voit sur la **figure 5**).

Cette solution présente de nombreux avantages, car elle ne 30 nécessite que peu de modifications par rapport aux pièces connues et peut faciliter le montage/démontage en permettant des jeux tangentiels plus grands entre les parties de plateforme 2.

Alternativement, il peut y avoir plus d'une ailette 4. Les meilleurs résultats sont obtenus pour deux ailettes 4. Il est souhaitable de ne pas dépasser trois ailettes 4.

5 A deux ailettes, celles-ci peuvent être disposées au milieu de chacune des parties 2I, 2E de plateforme 2 (comme l'on voit sur la figure 3), mais de façon préférée les ailettes 4 peuvent être plutôt du côté extrados de la veine. Par exemple, une première ailette peut être associée à des positions azimutales  $Y_{BA}, Y_{BF} \in [0.2, 0.25]$ , et une deuxième ailette associée à des positions azimutales  $Y_{BA}, Y_{BF} \in [0.5, 0.55]$ .

10 De façon générale, dès qu'il y a plus d'une ailette 4, il est souhaitable que plus une ailette 4 est éloignée de l'extrados de la deuxième pale 3E, plus la position (axiale) d'attaque de ladite ailette 4 soit éloignée du bord d'attaque BA des pales 3I, 3E. En d'autres termes, en partant de l'extrados, 15 les ailettes sont étagées avec  $X_{BA}$  croissant.

Dans ce second cas, les ailettes 4 sont inhérentes à la surface S, et l'utilisation des courbes de construction PC permet de les définir (ce qui est également vrai dans le cas d'une unique ailette 4 si elle n'est pas obtenue par un joint). De façon préférée, au moins trois courbes de construction sont 20 utilisées, comme on voit par exemple sur la figure 2, où il y en a sept : une courbe d'attaque (qui passe par le point d'attaque défini ci-avant), au moins une courbe centrale, et une courbe de fuite (qui passe par le point de fuite également défini ci-avant). La ou les courbes centrales (dont le nombre peut varier) sont avantageusement disposées à intervalles réguliers. Sur la figure 25 2, la première et la dernière courbe centrale sont disposées à la jonction entre le biseau et le corps de l'aillette 4. Si plusieurs ailettes 4 sont définies, la courbe de fuite de l'une peut être une courbe centrale d'une autre, et ainsi de suite.

On note que dans l'exemple de la figure 2 la courbe de fuite est 30 confondue avec le plan de raccord PS (l'aillette 4 s'étend au-delà du bord de fuite). Au contraire, il peut y avoir d'autres courbes de construction

disposées en amont ou en aval de toute ailette 4 (et donc ne contribuant pas à définir cette ou ces dernières).

Chacune courbe de construction PC est ainsi définie par une pluralité de points de contrôle (extrémaux et intermédiaires, au moins un point de contrôle intermédiaire (et même deux pour les courbes centrales) étant requis par ailette 4 pour chaque courbe de construction PC disposée entre la position d'attaque et la position de fuite d'une ailette 4). Le ou les paramètres définissant un point de contrôle sont choisis parmi une abscisse du point, une ordonnée du point, une orientation de tangente à la courbe au niveau du point et un (dans le cas d'un point de contrôle extrémal, on ne peut prendre en compte que la demi-tangente dans le domaine de définition de la courbe, à gauche ou à droite suivant le point) ou deux (dans le cas d'un point de contrôle intermédiaire) coefficients de tension chacun associé à une demi-tangente à la courbe au niveau du point.

Les positions des points de contrôle extrémaux sont contraintes par les pales 3I, 3E. En revanche, les orientations de la tangente à la courbe en ces points (en d'autres termes les dérivées) permettent de contrôler les pentes de la surface S, en particulier celles des flancs d'une ailette 4 (et donc sa largeur et sa hauteur)

20

### *Modélisation de la surface*

La définition de la surface via des courbes de construction PC facilite l'optimisation automatique de la pièce 1.

25 Chaque courbe de construction PC peut ainsi être modélisée via la mise en œuvre d'étapes de :

(a) Paramétrisation de la courbe de construction PC en tant que courbe de classe C<sup>1</sup> représentant la valeur du rayon de ladite surface S en fonction d'une position entre l'intrados de la première pale 3I et l'extrados de la deuxième pale 3E, la courbe étant définie par :

- Deux points de contrôle extrémaux, respectivement sur chacune des deux pales 3E, 3I entre lesquelles ladite surface S s'étend
  - Au moins un (avantageusement deux) point de contrôle intermédiaire situé entre les points de contrôle extrémaux ;
  - Au moins une spline ;
- la paramétrisation étant mise en œuvre selon un ou plusieurs paramètres définissant au moins un des points de contrôle ;
- (b) Détermination de valeurs optimisées desdits paramètres de ladite courbe.

Ces étapes sont réalisées par un équipement informatique comprenant des moyens de traitement de données (par exemple un supercalculateur).

15        Certains paramètres des points de contrôle extrémaux ou intermédiaires, par exemple les intervalles d'inclinaison des tangentes, sont fixés de sorte à respecter les conditions de pente recherchées.

De nombreux critères peuvent être choisis comme critères à optimiser lors de la modélisation de chaque courbe. A titre d'exemple, on 20 peut tenter de maximiser des propriétés mécaniques telles que la résistance aux contraintes mécaniques, les réponses fréquentielles, les déplacements des pales 3E, 3I, des propriétés aérodynamiques telles que le rendement, l'élévation de pression, la capacité de débit ou la marge au pompage, etc.

Pour cela il est nécessaire de paramétriser la loi que l'on cherche à 25 optimiser, c'est-à-dire d'en faire une fonction de  $N$  paramètres d'entrée. L'optimisation consiste alors à faire varier (en général aléatoirement) ces différents paramètres sous contrainte, jusqu'à déterminer leurs valeurs optimales pour un critère prédéterminé. Une courbe « lissée » est ensuite obtenue par interpolation à partir des points de passage déterminés.

30        Le nombre de calculs nécessaires est alors directement lié (linéairement voire exponentiellement) au nombre de paramètres d'entrée du problème.

De nombreuses méthodes sont connues, mais de façon préférée on mettra en œuvre une méthode similaire à celle décrite dans la demande de brevet FR1353439, qui permet une excellente qualité de modélisation, sans consommation élevée de puissance de calcul, tout en limitant le 5 phénomène de Runge (« ondulation » excessive de la surface).

Il est à noter que la pale 3E, 3I est reliée à la plateforme 2 via une courbe de raccordement (visible par exemple à la figure 1b), qui peut faire l'objet d'une modélisation spécifique, notamment également via l'utilisation de splines et points de contrôle utilisateur.

10

### *Effet des ailettes*

Les lignes de courant et de frottement ont été observées le long de l'extrados de la deuxième pale 2E : géométrie sans ailettes (**figure 6a**), 15 géométrie non-axisymétrique avec une ailette unique (**figure 6b**) et géométrie non-axisymétrique avec deux ailettes (**figure 6c**).

On voit nettement sur les figures 6b et surtout 6c la réduction de la hauteur de décollement, qui baisse de près de 33%. Le gain de vorticité atteint 2.3% pour une ailette, et 3.8% pour deux ailettes, d'où une hausse 20 du rendement de quelques dixièmes de pourcent.

## REVENDICATIONS

1. Pièce (1) ou ensemble de pièces de turbomachine  
5 comprenant au moins des première et deuxième pales (3I, 3E), et une plateforme (2) à partir de laquelle s'étendent les pales (3I, 3E)  
caractérisée en ce que la plateforme (2) présente entre l'intrados de la première pale (3I) et l'extrados de la deuxième pale (3E) une surface (S)  
10 non axisymétrique définissant deux ou trois ailettes (4) côté à côté à section sensiblement triangulaire s'étendant en aval d'un bord d'attaque (BA) de chacune des pales (3I, 3E), chaque ailette (4) présentant une largeur comprise entre 5% et 20% de la distance entre l'intrados de la première pale (3I) et l'extrados de la deuxième pale (3E), et chaque ailette (4) étant associée à une position d'attaque et une position de fuite sur la surface (S),  
15 entre lesquelles l'ailette (4) s'étend, telles que :

- la position d'attaque est située à entre 5% et 35% de longueur relative d'une corde de pale (3I, 3E) s'étendant d'un bord d'attaque (BA) à un bord de fuite (BF) de la pale (3I, 3E) ;
- plus une ailette (4) est éloignée de l'extrados de la deuxième pale (3E), plus la position d'attaque de ladite ailette (4) est axialement éloignée du bord d'attaque (BA) des pales (3I, 3E).

2. Pièce ou ensemble de pièces selon la revendication 1,  
dans laquelle chaque ailette (4) présente un ratio hauteur sur largeur  
25 compris entre 0.3 et 1.3.

3. Pièce ou ensemble de pièces selon la revendication 2,  
dans laquelle chaque ailette (4) présente une hauteur comprise entre 1 mm et 25 mm.

30 4. Pièce ou ensemble de pièces selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle chaque ailette (4) présente une

trace correspondant à la ligne moyenne de squelettes des première et deuxième pales (3I, 3E).

5. Pièce ou ensemble de pièces selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle la position de fuite associée à chaque ailette (4) est située à entre 50% et 105% de longueur relative de ladite corde de pale (3I, 3E).

10 6. Pièce ou ensemble de pièces selon la revendication 5, dans laquelle les positions d'attaque et de fuite associées à chaque ailette (4) sont chacune situées à une distance de l'extrados de la deuxième pale (3E) comprise entre 10% et 55% de la distance entre l'intrados de la première pale (3I) et l'extrados de la deuxième pale (3E).

15 7. Pièce ou ensemble de pièces selon l'une des revendications 5 et 6, dans laquelle la surface (S) définit deux ou trois ailettes (4) côte à côte, telles que plus une ailette (4) est éloignée de l'extrados de la deuxième pale (3E), plus la position d'attaque de ladite ailette (4) est axialement éloignée du bord d'attaque (BA) des pales (3I, 3E).

20

8. Pièce ou ensemble de pièces selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle la plateforme (2) comprend une première partie de plateforme (2I) à partir de laquelle s'étend la première pale (3I) et une deuxième partie de plateforme (2E) à partir de laquelle s'étend la deuxième pale (3E), un raccord entre lesdites première et deuxième parties de plateforme (2I, 2E) formant une ailette (4).

30

9. Pièce ou ensemble de pièces selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle la surface (S) est limitée par un premier et un deuxième plan extrémal (PS, PR), la surface (S) étant définie par au moins une courbe de construction (PC) de classe C1 représentant chacune la valeur d'un rayon de ladite surface (S) en fonction d'une position

entre l'intrados de la première pale (3I) et l'extrados de la deuxième pale (3E) selon un plan sensiblement parallèle aux plans extrémaux (PS, PR) disposé entre la position d'attaque et la position de fuite de chaque ailette (4).

5

**10.** Pièce ou ensemble de pièces selon la revendication 9, pour laquelle chaque courbe de construction (PC) a été modélisée via la mise en œuvre par des moyens de traitement de données d'étapes de :

(a) Paramétrisation de la courbe de construction (PC) en tant que courbe de classe C<sup>1</sup> représentant la valeur du rayon de ladite surface (S) en fonction d'une position entre l'intrados de la première pale (3I) et l'extrados de la deuxième pale (3E), la courbe étant définie par :

10

- Deux points de contrôle extrémaux, respectivement sur chacune des deux pales (3I, 3E) entre lesquelles ladite surface (S) s'étend ;
- Au moins un point de contrôle intermédiaire situé entre les points de contrôle extrémaux ;
- Au moins une spline ;

15

20

la paramétrisation étant mise en œuvre selon un ou plusieurs paramètres définissant au moins un des points de contrôle ;

(b) Détermination de valeurs optimisées desdits paramètres de ladite courbe.

25

**11.** Pièce ou ensemble de pièces selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle la plateforme (2) présente une forme annulaire le long de laquelle sont régulièrement disposées une pluralité de pales (3I, 3E).

30

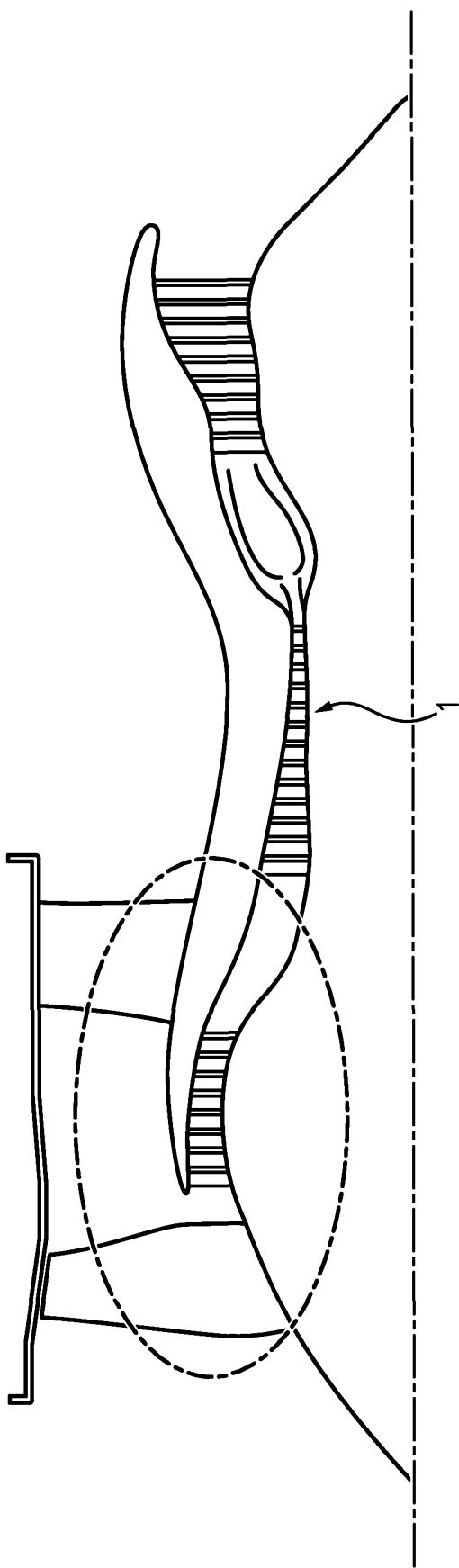
**12.** Pièce ou ensemble de pièces selon la revendication 11, dans laquelle la plateforme (2) présente la même surface (S) non-axisymétrique entre chaque paire de pales (3I, 3E) consécutives.

13. Pièce ou ensemble de pièces selon la revendication 12,  
étant une roue à aubes ou un redresseur de compresseur.

14. Turbomachine comprenant une pièce (1) ou ensemble  
5 de pièces selon l'une des revendications précédentes.

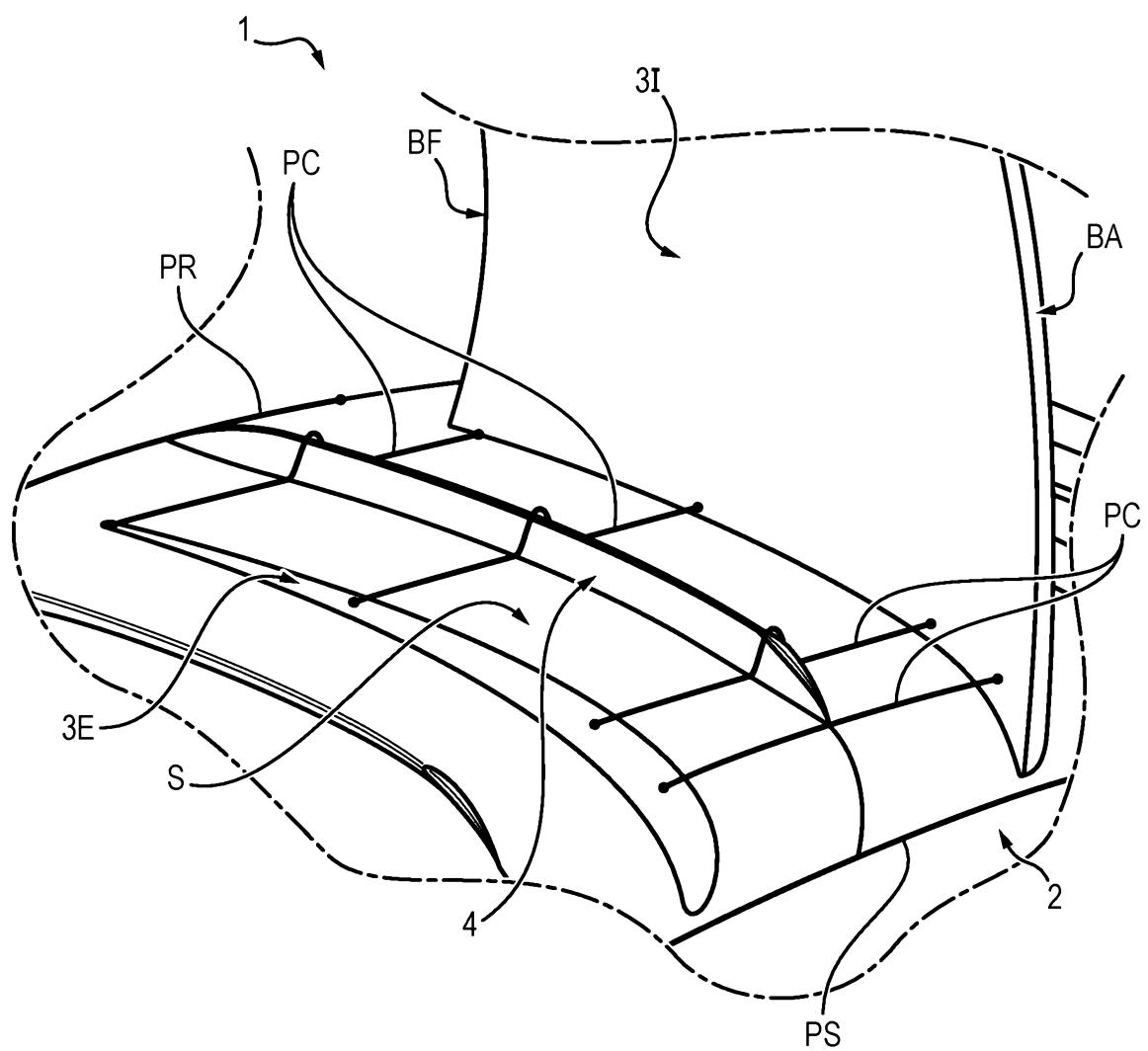
1/6

FIG. 1



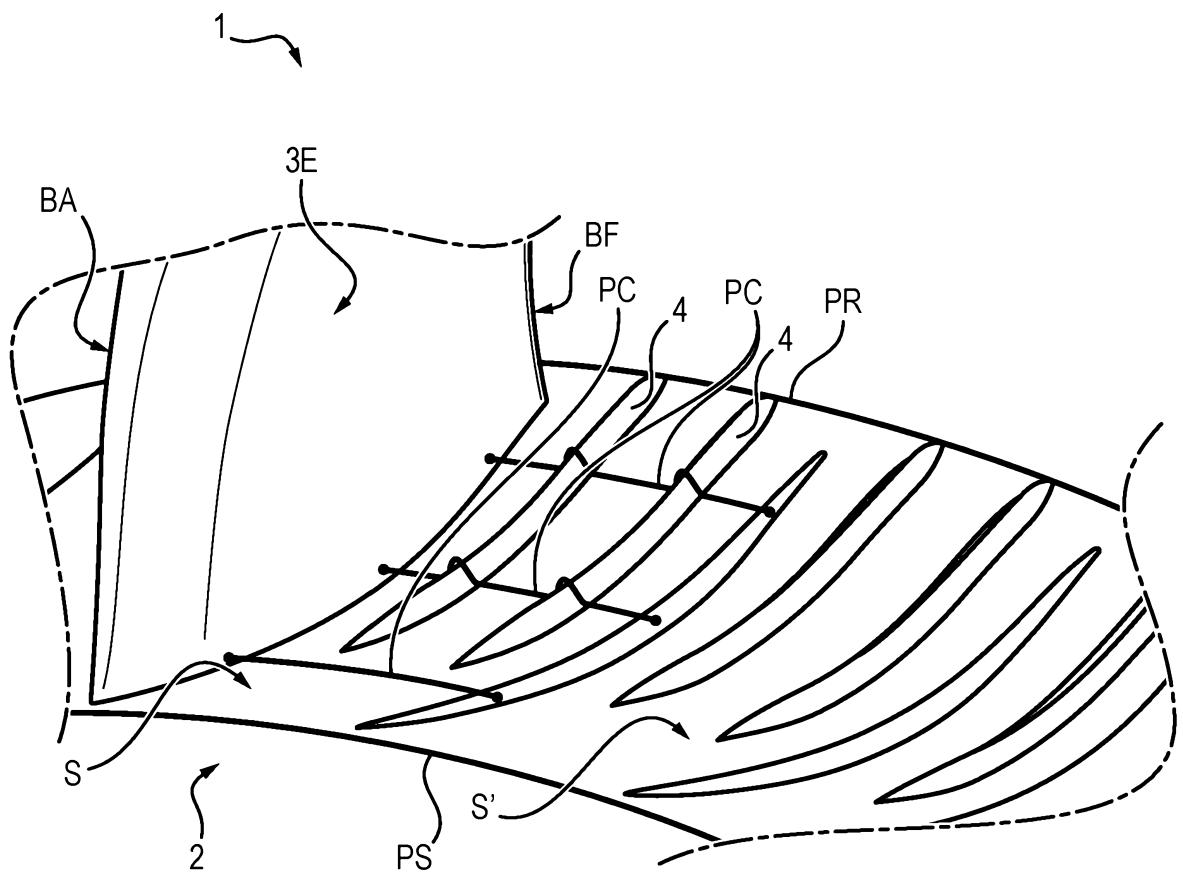
**2/6**

**FIG. 2**



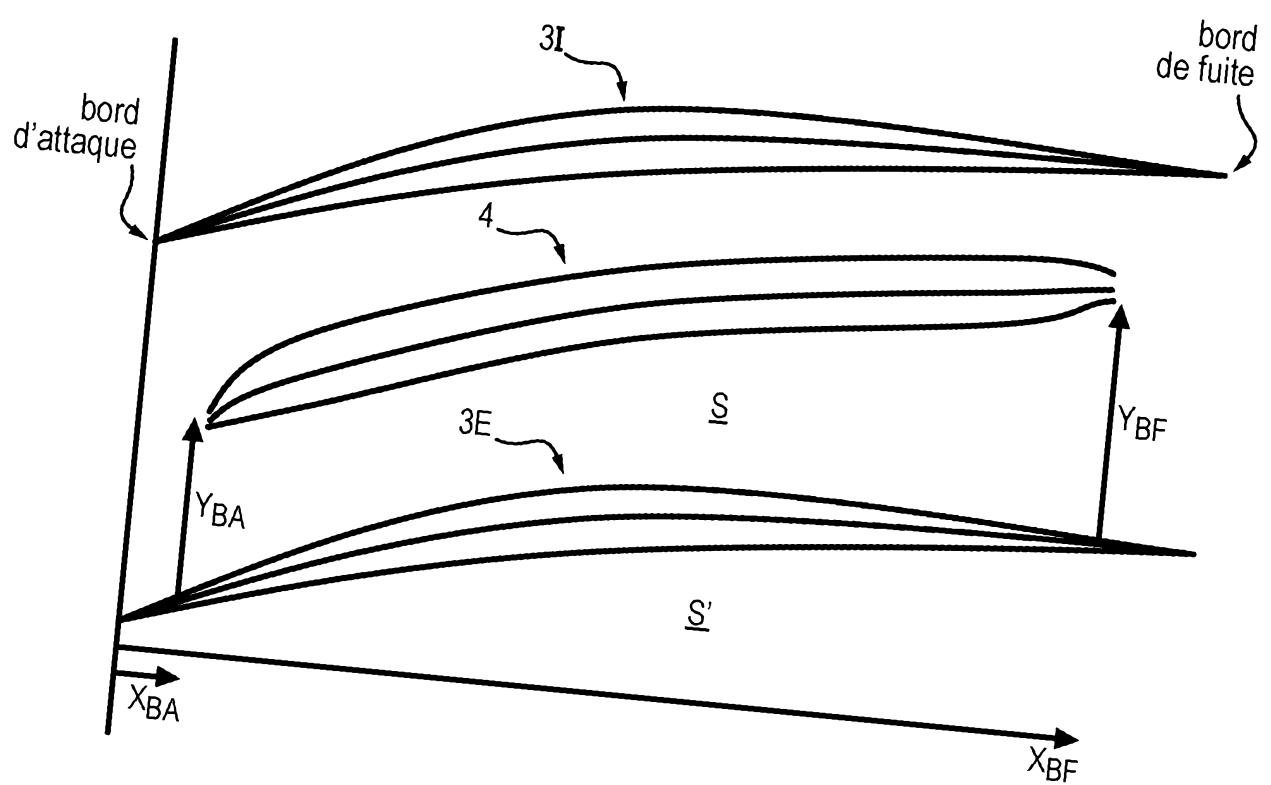
**3/6**

**FIG. 3**



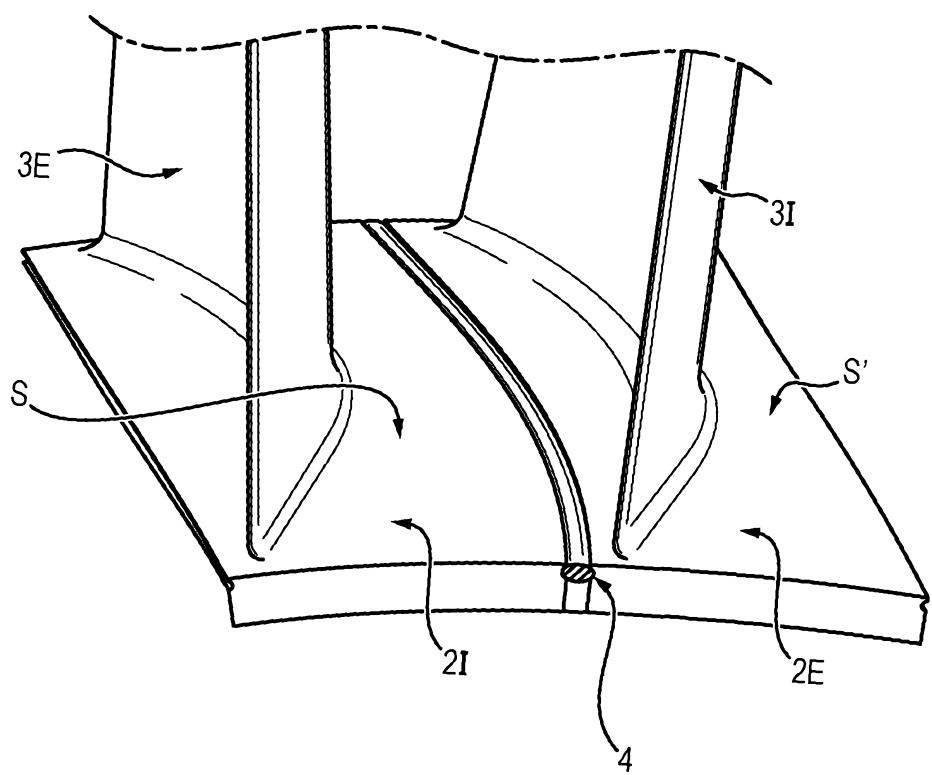
4/6

FIG. 4



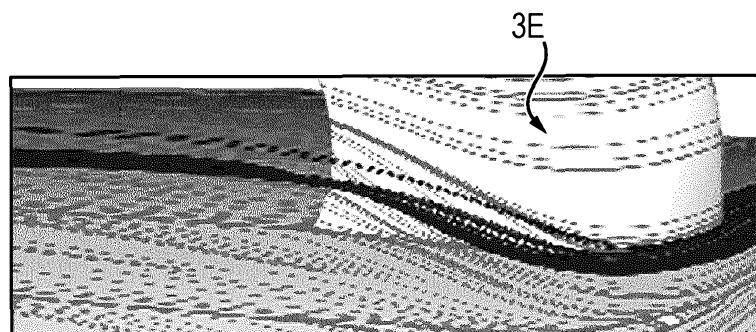
**5/6**

**FIG. 5**

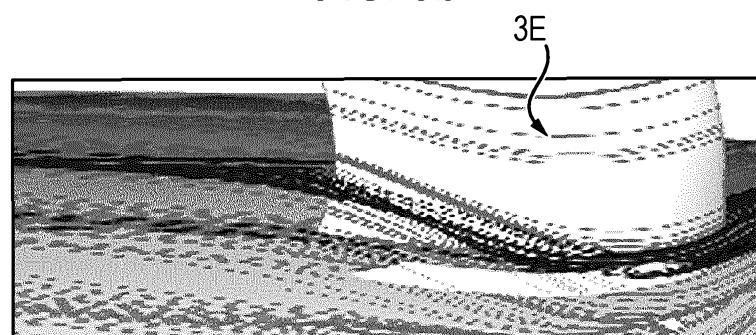


**6/6**

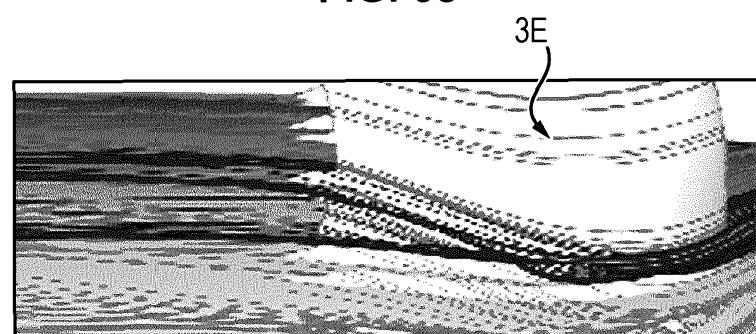
**FIG. 6a**



**FIG. 6b**



**FIG. 6c**



# RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

## OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveauté) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

## CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

[x] Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

□ Le demandeur a maintenu les revendications.

[x] Le demandeur a modifié les revendications.

□ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

□ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

□ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

## DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

[x] Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

□ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

□ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

□ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN  
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

JP S54 151707 A (HITACHI LTD) 29 novembre 1979 (1979-11-29)

JP S52 54808 A (HITACHI LTD) 4 mai 1977 (1977-05-04)

EP 2 261 462 A1 (ALSTOM TECHNOLOGY LTD [CH]) 15 décembre 2010 (2010-12-15)

EP 2 194 232 A2 (ROLLS ROYCE DEUTSCHLAND [DE]) 9 juin 2010 (2010-06-09)

EP 0 978 632 A1 (ASEA BROWN BOVERI [CH]) 9 février 2000 (2000-02-09)

JP S60 22002 A (HITACHI LTD) 4 février 1985 (1985-02-04)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN  
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND  
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT