

## **(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION BELGE**

(41) Date de publication : 04/03/2024

(21) Numéro de demande : BE2022/5620

(22) Date de dépôt : 09/08/2022

(62) Divisée de la demande de base :

(62) Date de dépôt demande de base :

(51) Classification internationale : F01D 17/16

(30) Données de priorité :

(71) Demandeur(s) :

**SAFRAN AERO BOOSTERS**  
SA  
4041, HERSTAL  
Belgique

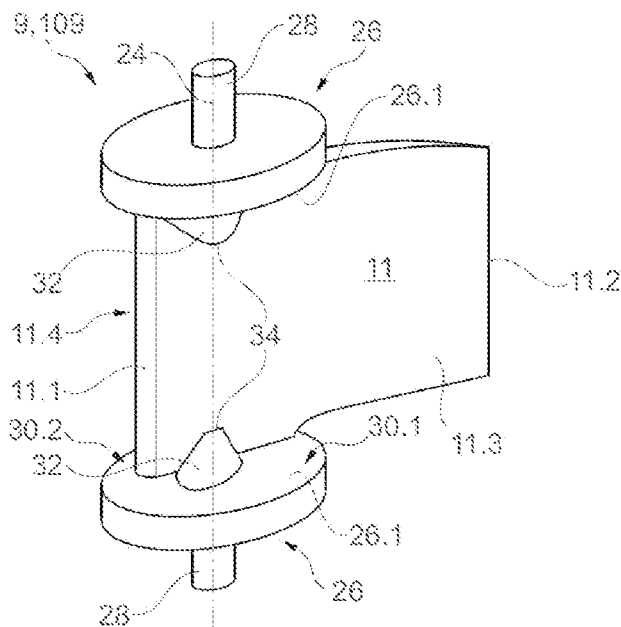
(72) Inventeur(s) :

**PRINCIVALLE Rémy Henri Pierre**  
4041 HERSTAL  
Belgique

**(54) AUBE POUR STATOR DE TURBOMACHINE**

(57) L'invention propose une aube (9 ; 109) à calage variable de stator de turbomachine, l'aube comprenant : une pale (11) de guidage d'un flux d'air ; et une ou deux plateforme(s) (26) disposée(s) à une extrémité ou aux deux extrémités de la pale, la ou les plateformes comprenant une surface de guidage (26.1) du flux d'air, la surface comprenant une première portion de disque (30.1) du côté de l'intrados (11.3) et une seconde portion de disque (30.2) du côté de l'extrados (11.4); remarquable en ce que la ou au moins une des premières ou secondes portions de disque comprend une bosse (32).

FIG 2



**Description****AUBE POUR STATOR DE TURBOMACHINE****Domaine technique**

L'invention concerne les aubes statoriques de turbomachine et plus  
5 particulièrement la conception des aubes à calage variable avec contouring de surface.

**Art antérieur**

Le changement climatique est une préoccupation majeure pour de nombreux  
organes législatifs et de régulation à travers le monde. En effet, diverses  
10 restrictions sur les émissions de carbone ont été, sont ou seront adoptées par divers états. En particulier, une norme ambitieuse s'applique à la fois aux nouveaux types d'avions mais aussi ceux en circulation nécessitant de devoir mettre en œuvre des solutions technologiques afin de les rendre conformes aux réglementations en vigueur. L'aviation civile se mobilise depuis maintenant  
15 plusieurs années pour apporter une contribution à la lutte contre le changement climatique.

Les efforts de recherche technologique ont déjà permis d'améliorer de manière très significative les performances environnementales des avions. La Déposante prend en considération les facteurs impactant dans toutes les phases de  
20 conception et de développement pour obtenir des composants et des produits aéronautiques moins énergivores, plus respectueux de l'environnement et dont l'intégration et l'utilisation dans l'aviation civile ont des conséquences environnementales modérées dans un but d'amélioration de l'efficacité énergétique des avions.

25 Par voie de conséquence, la Déposante travaille en permanence à la réduction de son incidence climatique négative par l'emploi de méthodes et l'exploitation de procédés de développement et de fabrication vertueux et minimisant les émissions de gaz à effet de serre au minimum possible pour réduire de l'empreinte environnementale de son activité.

Ces travaux de recherche et de développement soutenus portent à la fois sur les nouvelles générations de moteurs d'avions, l'allègement des appareils, notamment par les matériaux employés et les équipements embarqués allégés, le développement de l'emploi des technologies électriques pour assurer la propulsion, et, indispensables compléments aux progrès technologiques, les biocarburants aéronautiques.

Dans ce contexte, l'invention porte plus particulièrement sur les aspects liés au compresseurs de turbomachine d'aéronefs. Les compresseurs comprennent des aubes statoriques de redressement d'un flux primaire, ou « redresseur ». Le flux d'air peut présenter des écoulements secondaires non désirés, dus notamment à un décollement au niveau de l'extrados et de l'intrados, qui a des conséquences négatives sur les performances du compresseur impactant le rendement de la turbomachine

Le document de brevet publié WO 2019/228897 A1 divulgue des aubes d'un redresseur s'étendant à partir d'une surface non-axisymétrique communément appelée « contouring 3D », cette dernière comprend des creux et des bosses visant à limiter l'apparition des écoulements secondaires.

Cependant, cette solution visant à pourvoir les viroles de redresseur de creux et/ou de bosses n'est pas adaptée pour les aubes à calage variable (ou « VSV » pour « Variable Stator Vane »). En effet, si le design de creux et/ou de bosses sur la virole sont optimisées pour une direction donnée du flux d'air, les variations de la vitesse et/ou de la direction du flux résultants du pivotement des aubes VSV rend le contouring suboptimal. Par exemple, on note l'apparition de vortex en « fer-à-cheval » pour des aubes VSV en forte incidence.

Le contouring proposé par le document WO 2019/228897 A1 ne concerne que des aubes de redresseurs fixes et ne permet donc pas de limiter efficacement l'apparition des écoulements secondaires au niveau d'un redresseur à calage variable.

## **Résumé de l'invention**

30 Problème technique

L'invention a pour objectif de résoudre au moins un des problèmes posés par l'art antérieur. Plus précisément, l'invention a pour objectif de proposer une aube qui garantisse une bonne stabilité afin de limiter des pertes d'efficacité intrinsèques et de garantir un bon rendement du compresseur d'une turbomachine  
5 indépendamment de l'incidence des aubes VSV.

#### Solution technique

L'invention est le résultat des recherches technologiques visant à améliorer de manière très significative les performances des avions et, en ce sens, contribue à la réduction de l'impact environnemental des avions. Pour cela, la présente  
10 invention a pour objet une aube à calage variable de stator de turbomachine, l'aube comprenant :

- une pale de guidage d'un flux d'air, la pale ayant un bord d'attaque et un bord de fuite, ainsi qu'un intrados et un extrados s'étendant depuis le bord d'attaque jusqu'au bord de fuite ; et
- 15 - une ou deux plateforme(s) disposée(s) à une extrémité ou aux deux extrémités de la pale, la ou les plateformes comprenant une surface de guidage du flux d'air, la surface comprenant une première portion de disque du côté de l'intrados et une seconde portion de disque du côté de l'extrados ;  
remarquable en ce que la ou au moins une des premières ou secondes portions  
20 de disque comprend une bosse.

Avantageusement, la plateforme permet la fixation de l'aube dans un carter de la turbomachine, préférentiellement au moyen d'un tourillon assurant une liaison pivot avec le carter.

Préférentiellement, l'aube comprend une seule plateforme disposée en tête  
25 d'aube. Plus préférentiellement, l'aube comprend deux plateformes, une en tête de la pale et l'autre se trouvant au pied de ladite pale.

La ou les plateforme(s) comprend/comprennent deux portions de disque, ces deux dernières sont de préférence vues suivant une direction radiale. A cet effet, il est à noter que les disques sont asymétriques car leur surface de guidage de  
30 l'air n'est pas plane (comprend une ou deux bosses).

Selon un mode avantageux de l'invention, la ou l'au moins une des premières portions de disque comprend une première bosse, et le sommet de ladite première bosse a une position dont la projection sur la ligne de corde de l'aube au droit de la plateforme est distante du bord d'attaque de 10% ou moins de la corde.

Selon un mode avantageux de l'invention, le sommet de la première bosse est accolé à l'intrados ou est disposé à une distance dudit intrados comprise entre 0% et 30% d'une épaisseur maximale de la pale.

Selon un mode avantageux de l'invention, la ou au moins une des secondes portions de disque comprend une seconde bosse.

Avantageusement, la seconde bosse permet de retarder voire d'éviter le décrochage du flux d'air au niveau de l'extrados de la pale.

Préférentiellement, le sommet de la seconde bosse comprend une position dont la projection sur la corde de l'aube au droit de la plateforme est distante du bord de fuite de la pale d'une distance correspondant à 10% ou moins de la corde.

Selon un mode avantageux de l'invention, la plateforme comprend une arête périphérique qui coupe la projection radiale de l'extrados sur la surface de guidage en un point d'intersection arrière, le sommet de la seconde bosse ayant une position dont la projection sur la ligne de corde de l'aube au droit de la plateforme est à une distance de la projection du point d'intersection arrière sur la corde qui est inférieure ou égale à 10% de la corde.

Selon un mode avantageux de l'invention, hormis la ou les bosses, la surface de la première et de la deuxième portion de disque est sensiblement plane, et le sommet de la ou des bosses s'élève au-dessus de la surface sensiblement plane d'une hauteur qui est comprise entre 0.5 et 5 mm, préférentiellement comprise entre 1 et 3 mm.

Selon un mode avantageux de l'invention, la hauteur du sommet de la première bosse est comprise entre 0.1 et 0.3 fois l'épaisseur maximale de la pale ou comprise entre 1 et 3 fois ladite épaisseur maximale, et/ou la hauteur du sommet de la seconde bosse est comprise entre 0.1 et 0.3 fois l'épaisseur maximale de la pale ou comprise entre 1 à 3 fois ladite épaisseur maximale.

Avantageusement, cette hauteur des bosses permet de minimiser les écoulements secondaires, tout en limitant l'impact desdites bosses sur le profil aérodynamique de la pale. En effet, si la hauteur des bosses est trop grande, alors un blocage du flux d'air risque de se produire.

- 5 Selon un mode avantageux de l'invention, la hauteur du sommet de la ou des bosses est comprise entre 1% et 10% de la corde.

Selon un mode avantageux de l'invention, la ou les bosses sont à distance de l'arête périphérique.

- Avantageusement, la première bosse et/ou la deuxième bosse est/sont  
10 confinée(s) sur la plateforme et ne s'étendent pas sur la partie fixe du carter, car dans le cas où la ou les bosses se trouvent sur partie fixe (carter de turbomachine) en dehors de la plateforme, l'homogénéité de l'écoulement aérodynamique risque d'être impactée. En effet, le confinement des bosses sur les plateformes des aubes de l'invention permet auxdites bosses d'agir sur les  
15 écoulements secondaires quelle que soit l'incidence de la pale.

Selon un mode avantageux de l'invention, la première bosse a une orientation principale qui forme un angle compris entre 30° et 60° avec la corde de l'aube.

- Préférentiellement, l'orientation principale de la première bosse correspond à une direction ou à un axe principal de l'étendue de ladite première bosse sur la  
20 plateforme. A cet effet, l'orientation principale définit le sens de la plus grande dimension de ladite première bosse. L'axe principal est de préférence sensiblement parallèle à la surface de guidage de la plateforme et peut être vu radialement.

- Selon un mode avantageux de l'invention, la seconde bosse a une forme de  
25 cardioïde tronquée.

- L'invention a également pour objet une turbomachine d'aéronef comprenant un compresseur, ledit compresseur comprenant une surface de guidage d'un flux d'air sensiblement axisymétrique à l'exception d'une rangée annulaire de logements, la turbomachine étant remarquable en ce qu'elle comprend une  
30 rangée annulaire d'aubes selon l'invention et l'un de ses modes avantageux susmentionnés, les plateformes des aubes étant reçues dans des logements du

carter tel que les surfaces de guidage d'air des plateformes soient sensiblement affleurantes à la surface de guidage de flux d'air du carter.

Avantageusement, l'aube de l'invention permet d'éviter l'apparition des écoulements secondaires au niveau du redresseur statorique à calage variable  
5 d'un compresseur de la turbomachine.

En effet, la première bosse permet de limiter voire d'éviter qu'un écoulement secondaire indésirable remonte vers l'extrados d'une aube voisine dans une rangée d'aubes statoriques du compresseur. Parallèlement, la seconde bosse permet de mieux guider du flux d'air en contact avec l'extrados et d'éviter son  
10 décollement dudit extrados.

De plus, l'invention est particulièrement avantageuse car elle permet d'améliorer les performances des compresseurs d'aéronefs et le rendement global des turbomachines, ce qui se traduit en une baisse de consommation de carburant et des émissions de gaz à effet de serre, réduisant ainsi l'impact environnemental  
15 des avions.

Il est entendu que chaque détail d'un mode de réalisation ci-dessous peut être combiné à chaque autre détail des autres modes de réalisation.

### **Brève description des dessins**

La figure 1 illustre une vue en coupe d'un compresseur d'une turbomachine axiale ;  
20

La figure 2 représente une vue en perspective d'une aube conforme à l'invention ;

La figure 3 illustre une vue radiale de l'aube selon un premier mode de réalisation de l'invention ;

La figure 4 illustre une vue latérale de l'aube de la figure 3 ;

25 La figure 5 illustre une vue radiale d'une aube selon un deuxième mode de réalisation de l'invention ;

La figure 6 illustre une vue latérale de l'aube de la figure 5 ;

La figure 7 illustre une vue radiale d'une aube selon un troisième mode de réalisation de l'invention.

30 **Description détaillée des modes de réalisation**

Dans la description qui va suivre, les termes « interne », « intérieur », « inférieur », « externe » et « supérieur » renvoient à un positionnement par rapport à l'axe de rotation d'une turbomachine axiale. La direction axiale correspond à la direction le long de l'axe de rotation de la turbomachine, les longueurs étant mesurées axialement. Les largeurs sont mesurées selon la circonférence. La direction radiale est perpendiculaire à l'axe de rotation. L'amont et l'aval sont en référence au sens d'écoulement principal du flux d'air dans la turbomachine.

Les dimensions des figures ne sont pas à l'échelle et en particulier les épaisseurs ou les dimensions radiales sont exagérées pour faciliter la lecture des figures.

La figure 1 représente une vue en coupe d'un compresseur 2 d'une turbomachine axiale 4.

La turbomachine 4 peut correspondre à un turboréacteur double-flux, un turbojet, turbofan, turbopropulseur, turbomoteur ou toute autre turbine double-flux. Alternativement, la turbomachine 4 peut correspondre à une turbomachine multi-flux, tel qu'un turboréacteur triple-flux non-carénée (CROR « Counter-Rotating Open Rotor » ou USF « Unducted Single Fan »), ou toute autre turbomachine triple-flux.

De préférence, le compresseur 2 correspond à un compresseur basse-pression 2 ou à un compresseur haute-pression (non représenté). La turbomachine 4 comprend, en outre, d'autre composants non représentés dans la figure 1, tels qu'un compresseur haute-pression, une chambre de combustion et un ou plusieurs niveaux de turbines. En fonctionnement, la puissance mécanique de la turbine transmise via l'arbre central jusqu'au rotor 6 met en mouvement les deux compresseurs. Ces derniers comportent plusieurs rangées d'aubes de rotor 8 associées à des rangées d'aubes de stator 10. La rotation du rotor 6 autour de son axe de rotation X permet ainsi de générer un débit d'air et de comprimer progressivement ce dernier jusqu'à l'entrée de la chambre de combustion.

Une soufflante 12 (partiellement illustrée), est couplée au rotor 6 et génère un flux d'air qui se divise en un flux radialement interne F1, communément appelé flux primaire F1, et en un flux radialement externe F', pouvant correspondre à un

flux secondaire  $F'$  dans le cadre d'une turbomachine double-flux, ou à un flux tertiaire  $F'$  d'une turbomachine 4 du type triple-flux.

Le flux radialement externe  $F'$  traverse un conduit annulaire (partiellement représenté). Le flux secondaire est accéléré pour générer une réaction de  
5 poussée utile au vol d'un avion. Les flux primaire  $F1$  et radialement externe  $F'$  sont tous deux annulaires et séparés par un bec de séparation 14.

On peut voir sur la figure 1 que le rotor 12 comprend plusieurs rangées d'aubes rotoriques 8, en l'occurrence trois, et plusieurs rangées d'aubes statoriques 10, en l'occurrence trois ; ces dernières permettent de convertir la vitesse du flux d'air  
10  $F1$  en pression, notamment en pression statique.

Les aubes rotoriques 8 peuvent s'étendre radialement depuis un support rotorique 16 qui peut être une plateforme à queue d'aronde, une couronne interne de tambour monobloc aubagé ou tout autre type de support d'un rotor composite.

Les aubes statoriques 10 s'étendent essentiellement radialement depuis un  
15 carter extérieur 18. Elles peuvent y être fixées et immobilisées à l'aide d'axes de fixation 20. Elles traversent radialement le flux primaire  $F1$ . Les aubes statoriques 10 peuvent être à corde fixe (radialement constantes) par rapport au carter extérieur 18.

Le compresseur basse-pression 2 comprend à l'entrée d'une veine 22 de flux  
20 primaire  $F1$ , une rangée d'aubes 9 statoriques de redressement à calage variable.

Préférentiellement, le calage variable des aubes 9 est assuré au moyen d'un système d'actionnement (non illustré) régulant l'angle formé par les pales 11 des aubes 9 autour d'un axe 24.

25 Dans cette configuration, chaque aube 9 comprend une pale 11 ainsi que une ou préférentiellement deux plateformes 26 sensiblement circulaires et disposées aux deux extrémités de la pale 11. Chaque plateforme 26 est pourvue d'un tourillon 28, du côté opposé à la pale 11 et assurant une liaison pivot avec le carter extérieur 18 ou intérieur 30. Le carter extérieur 18 est délimité radialement  
30 intérieurement par une surface supérieure 18.1 de guidage du flux primaire  $F1$ ,

et le carter intérieur 30 est délimité radialement extérieurement par une surface de guidage intérieure 30.1.

Avantageusement, les pales 11 du redresseur sont identiques et annulairement alignées.

5 Le carter 18, 30 comprend des logements 31 répartis annulairement autour de l'axe X et dans lesquels les plateformes 26 sont logées et montées pivotantes.

Avantageusement, les plateformes 26 comprennent des surfaces de guidage d'air 26.1 axisymétriques (circulaires, cylindriques, coniques, etc.) sensiblement planes et affleurantes aux surfaces 18.1 et 30.1 de guidage de flux d'air du carter  
10 18, 30. Des joints appropriés peuvent garantir l'étanchéité entre les plateformes 26 et le carter.

La figure 2 représente une vue en perspective d'une aube 9 conforme à l'invention. La pale 11 de l'aube 9 comprend un bord d'attaque 11.1 et un bord de fuite 11.2, ainsi qu'un intrados 11.3 et un extrados 11.4 s'étendant depuis le  
15 bord d'attaque 11.1 jusqu'au bord de fuite 11.2.

La pale 11 comprend, en outre, une ligne de corde LC, une ligne squelette S et une épaisseur maximale e (illustrées à la figure 3).

La surface de guidage 26.1 de la plateforme 26 comprend une première portion de disque 30.1 du côté de l'intrados 11.3 et une seconde portion de disque 30.2  
20 du côté de l'extrados 11.4.

La séparation entre la première 30.1 et la seconde portion de disque 30.2 correspond préférentiellement au prolongement de la ligne squelette S ou la ligne de cambrure S de la pale 11 sur la surface de guidage 26.1 (vue radialement).

Suivant un premier mode de réalisation de l'invention, la première portion 30.1  
25 comprend une première bosse 32. Des détails sur la forme et la position de la première bosse 32 seront détaillés plus loin dans la présente description.

La figure 3 illustre une vue radiale de l'aube 9 selon le premier mode de réalisation de l'invention.

On peut voir des lignes de contour (iso-contour) illustrant la première bosse 32  
30 comprenant un sommet 34 ayant une projection 34.1 sur la ligne de corde LC de

la pale 11 qui est préférentiellement distante du bord d'attaque 11.1 d'une distance D1 correspondante à au plus 10% de la corde C. Alternativement, la distance D1 peut être plus grande sans toutefois dépasser 15% de la corde C.

5 Préférentiellement, le sommet 34 de la première bosse 32 est disposé de manière adjacente (sensiblement accolé) à l'intrados 11.3. Toutefois, le sommet 34 peut être au voisinage de l'intrados 11.3, i.e., disposé à une distance comprise entre 0% et 50% de l'épaisseur maximale e, et préférentiellement comprise entre 0% et 30%.

Plus préférentiellement, le sommet 34 est à au plus 3 mm de l'intrados 11.3.

10 Avantageusement, une telle disposition de la première bosse 32 permet d'avoir un impact direct sur le vortex « fer-à-cheval », car elle permet d'éviter le décrochage de la couche limite au niveau de la paroi de l'aube côté intrados 11.3 et/ou extrados 11.4.

15 La première bosse 32 comprend une forme sensiblement circulaire ou ovale ou elliptique, ladite bosse 32 étant préférentiellement sensiblement elliptique. Toutefois, la forme de la bosse 32 peut être tronquée par l'intrados 11.3. La première bosse 32 comprend une orientation principale illustrée par un axe principal 32.1 qui peut former un angle compris entre 30° et 60° avec la ligne de corde LC, et préférentiellement un angle d'environ 45° ( $\pm 10\%$ ) avec la ligne de corde LC.

20 En effet, une orientation de la première bosse 32 à 0° par rapport à la ligne de corde LC ne permet pas de faire obstacle aux écoulements secondaires, et une orientation à 90° avec la ligne de corde LC fait bien obstacles aux écoulements indésirables, mais génère des pertes aérodynamiques supérieures.

25 Avantageusement, l'orientation de la première bosse 32 ainsi que la position du sommet 34 permet de faire obstacle au vortex fer-à-cheval afin d'éviter son passage vers l'extrados 11.4, et cela, dans toutes les orientations possibles de l'aube 9 autour de son axe 24. A cet effet, l'aube 9 permet d'assurer un fonctionnement optimal du compresseur de l'aéronef dans toutes les conditions  
30 de vol.

La figure 4 illustre une vue latérale de l'aube 9 de la figure 3. Ici l'aube 9 est partiellement illustrée, notamment une moitié inférieure de ladite aube 9 est représentée, et la ligne en pointillés peut éventuellement correspondre à un axe de symétrie de l'aube 9.

- 5 On voit que le sommet 34 de la première bosse 32 s'élève au-dessus de la surface sensiblement plane 26.1 d'une hauteur H1.

Préférentiellement, la hauteur H1 du sommet 34 est comprise entre 1% et 10% de la corde de la pale 11.

La hauteur H1 est déterminée en fonction de l'épaisseur maximale e (illustrée  
10 dans la figure 3) de la pale 11 au droit de la plateforme 26 (c'est-à-dire que dans les cas où l'épaisseur de l'aube 9 n'est pas constante sur sa hauteur radiale, la hauteur de la bosse est définie par rapport à l'épaisseur maximale). En effet, il est préférable que la hauteur H1 soit comprise entre 0,1 et 3 fois l'épaisseur maximale e. Plus préférentiellement, la hauteur H1 est comprise entre 0,1 et 0,3  
15 fois l'épaisseur maximale e quand la première bosse 32 est en tête d'aube, et comprise entre 1 et 3 fois l'épaisseur e quand ladite bosse 32 est en pied d'aube.

A cet effet, la hauteur H1 peut, par exemple, correspondre à 1 mm quand l'épaisseur e est égale à 10 mm, notamment dans le cas où la première bosse 32 se trouve sur la plateforme en tête d'aube, ou ladite hauteur H1 peut être égale  
20 à 3 mm si l'épaisseur e est à 1 mm, notamment dans le cas où la première bosse 32 se trouve sur la plateforme en pied d'aube.

De préférence, la hauteur H1 est comprise entre 0,5 et 5 mm, et plus préférentiellement comprise entre 1 et 3 mm. En dessous de cet intervalle (hauteur H1 inférieure à 1 mm), les tolérances de la forme de la première bosse  
25 32 peuvent affecter l'efficacité de cette dernière à freiner les écoulements secondaires. Parallèlement, au-delà de cet intervalle (hauteur H1 supérieure à 3 mm), la performance du compresseur en incidence nominale risque d'être dégradée.

La première bosse 32 peut avoir une forme généralement convexe et/ou  
30 concave. Préférentiellement, la première bosse 32 présente une forme convexe au niveau d'une partie amont correspondant à environ une moitié de l'étendue

de ladite bosse 32 (ici le terme environ correspond à  $\pm 20\%$  de l'étendue), ladite première bosse 32 présente une forme concave sur une partie aval correspondant à une autre moitié, et plus préférentiellement, la moitié convexe est disposée en aval de la bosse 32 (plus proche du bord de fuite 11.2) de manière à disposer la partie convexe en contact direct avec les écoulements secondaires pour les bloquer et permettre de mieux guider le flux en aval avec la moitié concave.

La figure 5 illustre une vue radiale d'une aube 109 selon un deuxième mode de réalisation de l'invention, dans lequel l'aube 109 comprend une seconde bosse 132 au droit de la seconde portion de disque 30.2 de la surface 26.1.

Les éléments identiques entre les premier et deuxième modes de réalisation ont les mêmes signes de référence, tandis que les éléments additionnels ou sensiblement similaires sont incrémentés de 100.

Préférentiellement, l'aube 109 comprend la première bosse 32 au droit de la première portion de disque 30.1 et la seconde bosse 132 disposée au droit de la seconde portion de disque 30.2.

La plateforme 26 comprend une arête périphérique 26.2, et la première 32 et la seconde bosse 132 sont à distance de ladite arête périphérique 26.2. Cela permet au contouring 3D de tourner entièrement avec l'aube 109.

L'extrados 11.4 présente un point d'intersection arrière 11.5 avec la plateforme 26, et précisément avec l'arête périphérique 26.2, ledit point 11.5 correspond à une intersection entre ladite arête périphérique 26.2 et la projection radiale de l'extrados 11.4 sur la surface de guidage 26.1. A cet effet, le point d'intersection arrière 11.5 est situé à l'aval de la plateforme 26 (proche du bord de fuite 11.2 de la pale 11), et la seconde bosse 132 comprend un sommet 134 dont la projection 134.1 sur la ligne de corde LC est distante d'une distance D2 par rapport à une projection 11.6 du point d'intersection arrière 11.5 sur la ligne de corde LC.

Préférentiellement, la distance D2 correspond à au plus 15% de la corde C, et plus préférentiellement, la distance D2 correspond à 10% ou moins de la corde C.

Dans une alternative non représentée, le sommet 134 peut être positionné de manière à ce que sa projection 134.1 sur la ligne de corde LC soit distante du bord d'attaque 11.1 d'une distance  $D1$  correspondante à au moins 10% de la corde  $C$ .

- 5 Le sommet 134 est accolé à l'extrados 11.4 ou disposé à une distance dudit extrados 11.4 comprise entre 0% et 50%, et préférentiellement entre 0% et 30% de l'épaisseur maximale  $e$ , similairement à la disposition du sommet 34 de la première bosse 32 par rapport à l'intrados 11.3.

Avantageusement, une telle disposition de la seconde bosse 132 permet de  
10 retarder voire d'éviter le décrochage de la couche limite au niveau de la paroi de l'aube côté extrados 11.4.

Dans cette configuration, la première bosse 32 agit directement sur le phénomène du vortex « fer-à-cheval » de manière à limiter son impact, et la seconde bosse 132 permet de manière curative de compenser des décrochages  
15 pouvant être causés au droit de l'extrados 11.4 par le phénomène.

De préférence, la seconde bosse 132 comprend une forme de cardioïde tronquée, ou une forme sensiblement circulaire, ou ovale, ou elliptique, ladite seconde bosse 132 étant préférentiellement en forme de cardioïde tronquée avec une orientation principale sensiblement parallèle à l'extrados 11.4, de manière à  
20 ce que la seconde bosse 132 s'étend suivant sa direction principale qui suit la courbure de l'extrados 11.4. En effet, la seconde bosse 132 suit le contour de l'extrados 11.4 de manière à pouvoir mieux guider le flux d'air et d'éviter son décollement dudit extrados 11.4.

La figure 6 illustre une vue latérale de l'aube 109 de la figure 5. On voit que le  
25 sommet 134 de la seconde bosse 132 s'élève au-dessus de la surface sensiblement plane 26.1 d'une hauteur  $H2$ .

Préférentiellement, la hauteur  $H2$  du sommet 134 est déterminée en fonction de l'épaisseur maximale  $e$  similairement à la hauteur  $H1$  de la première bosse 32. A cet effet, la hauteur  $H2$  est comprise entre 0.1 et 3 fois l'épaisseur  $e$ , et plus  
30 préférentiellement comprise entre 0.1 et 0.3 fois l'épaisseur maximale  $e$  quand la

seconde bosse 132 est en tête d'aube, et comprise entre 1 et 3 fois l'épaisseur  $e$  quand ladite bosse 132 est en pied d'aube.

La hauteur  $H2$  peut, par exemple, correspondre à 1 mm quand l'épaisseur  $e$  est égale à 10 mm, notamment dans le cas où la seconde bosse 132 se trouve sur la plateforme en tête d'aube, ou ladite hauteur  $H2$  peut être égale à 3 mm si l'épaisseur  $e$  est à 1 mm, notamment dans le cas où la seconde bosse 132 se trouve sur la plateforme en pied d'aube.

Toutefois, il est à noter que sur une même surface sensiblement plane 26.1, la hauteur  $H2$  est préférentiellement inférieure à la hauteur  $H1$ .

Préférentiellement, la hauteur  $H2$  est comprise entre 1% et 10% de la corde de la pale 11. Plus préférentiellement, la hauteur  $H2$  est comprise entre 0.5 et 5 mm, et plus préférentiellement comprise entre 1 et 3 mm.

La seconde bosse 132 peut avoir une forme généralement convexe et/ou concave. Préférentiellement, la seconde bosse 132 présente une forme convexe au niveau d'une partie amont correspondant à environ une moitié de l'étendue de ladite seconde bosse 132 (ici le terme environ correspond à  $\pm 20\%$  de l'étendue), ladite seconde bosse 132 présente une forme concave sur une partie aval correspondant à une autre moitié, et plus préférentiellement, la moitié convexe est disposée en aval de la bosse 132 (plus proche du bord de fuite 11.2) de manière à permettre un meilleur guidage du flux d'air en aval.

La figure 7 illustre une vue radiale d'une aube 209 selon un troisième mode de réalisation de l'invention, dans lequel la surface sensiblement plane 26.1 de l'aube 209 comprend uniquement la seconde bosse 132 au droit de la deuxième portion de disque 30.2.

En effet, l'aube 209 selon le troisième mode de réalisation, est dépourvue de la première bosse 32 (illustrée sur les figures 1-6). Dans cette configuration, lors de fortes incidences, la seconde bosse 132 permet de maintenir un écoulement du flux d'air sur l'extrados 11.4 afin éviter son décollement pouvant être causé par le vortex fer-à-cheval.

Il est entendu que les trois modes de réalisation des figures 3, 5 et 7 peuvent être combinés sur une même aube : une aube peut avoir une bosse côté intrados en

pied et une bosse côté extradados en tête (ou inversement), ou avoir deux bosses sur une de ses plateformes et aucune sur une autre.

Aussi, différentes aubes d'une même rangée d'aubes peuvent présenter l'une et/ou l'autre des configurations des trois modes de réalisation illustrés.

## Revendications

1. Aube (9 ; 109) à calage variable de stator de turbomachine (4) d'aéronef, l'aube (9 ; 109) comprenant :
  - une pale (11) de guidage d'un flux d'air, la pale (11) ayant un bord d'attaque (11.1) et un bord de fuite (11.2), ainsi qu'un intrados (11.3) et un extrados (11.4) s'étendant depuis le bord d'attaque (11.1) jusqu'au bord de fuite (11.2) ; et
  - une ou deux plateforme(s) (26) disposée(s) à une extrémité ou aux deux extrémités de la pale (11), la ou les plateformes (26) comprenant une surface de guidage (26.1) du flux d'air, la surface (26.1) comprenant une première portion de disque (30.1) du côté de l'intrados (11.3) et une seconde portion de disque (30.2) du côté de l'extrados (11.4) ; caractérisée en ce que la ou au moins une des premières (30.1) ou secondes portions de disque (30.2) comprend une bosse (32 ; 132).
2. Aube (9 ; 109) selon la revendication 1, caractérisée en ce que la ou l'au moins une des premières portions de disque (30.1) comprend une première bosse (32), et le sommet (34) de ladite première bosse (32) a une position dont la projection (34.1) sur la ligne de corde (LC) de l'aube (9 ; 109) au droit de la plateforme (26) est distante du bord d'attaque (11.1) de 10% ou moins de la corde (C).
3. Aube (9 ; 109) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que le sommet (34) de la première bosse (32) est accolé à l'intrados (11.3) ou est disposé à une distance dudit intrados (11.3) comprise entre 0% et 30% d'une épaisseur maximale (e) de la pale (11).
4. Aube (109) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que la ou au moins une des secondes portions de disque (30.2) comprend une seconde bosse (132).
5. Aube (109) selon la revendication 4, caractérisée en ce que, la plateforme (26) comprend une arête périphérique (26.2) qui coupe la projection radiale de l'extrados (11.4) sur la surface de guidage (26.1) en un point d'intersection

- 5 arrière (11.5), le sommet (134) de la seconde bosse (132) ayant une position dont la projection (134.1) sur la ligne de corde (LC) de l'aube (109) au droit de la plateforme (26) est à une distance (D2) de la projection (11.6) du point d'intersection arrière (11.5) sur la ligne de corde (LC) qui est inférieure ou égale à 10% de la corde (C).
6. Aube (9 ; 109) selon l'une des revendications 4 ou 5, caractérisée en ce que, hormis la ou les bosses (32 ; 132), la surface (26.1) de la première (30.1) et de la deuxième portion de disque (30.2) est sensiblement plane, et en ce que le sommet (34 ; 134) de la ou des bosses (32 ; 132) s'élève au-dessus de la surface sensiblement plane (26.1) d'une hauteur (H1 ; H2) qui est comprise entre 0.5 et 5 mm, préférentiellement comprise entre 1 et 3 mm.
- 10 7. Aube (9 ; 109) selon la revendication précédente, caractérisée en ce que la hauteur (H1) du sommet (34 ; 134) de la première bosse (32) est comprise entre 0.1 et 0.3 fois l'épaisseur maximale (e) de la pale (11) ou comprise entre 1 à 3 fois ladite épaisseur maximale (e), et/ou la hauteur (H2) du sommet (134) de la seconde bosse (132) est comprise entre 0.1 et 0.3 fois l'épaisseur maximale (e) de la pale (11) ou comprise entre 1 à 3 fois ladite épaisseur maximale (e).
- 15 8. Aube (9 ; 109) selon la revendication 6 ou 7, caractérisée en ce que la hauteur (H1 ; H2) du sommet (34 ; 134) de la ou des bosses (32 ; 132) est comprise entre 1% et 10% de la corde (C).
- 20 9. Aube (9 ; 109) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que la ou les bosses (32 ; 132) sont à distance de l'arête périphérique (26.2).
- 25 10. Aube (9 ; 109) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que la première bosse (32) a une orientation principale (32.1) qui forme un angle compris entre 30° et 60° avec la ligne corde (LC) de l'aube (9 ; 109).
11. Aube (9 ; 109) selon l'une des revendications 4 à 10, caractérisée en ce que la seconde bosse (132) a une forme de cardioïde tronquée.

12. Turbomachine (4) d'aéronef comprenant un compresseur (2), ledit compresseur (2) comprenant une surface de guidage (18.1, 30.1) d'un flux d'air (F1) sensiblement axisymétrique, la turbomachine (4) étant caractérisée en ce qu'elle comprend une rangée annulaire d'aubes (9 ; 109) selon l'une  
5 des revendications 1 à 11, les plateformes (26) des aubes (9 ; 109) étant reçues dans des logements (31) du carter (18, 30) tel que les surfaces de guidage d'air (26.1) des plateformes (26) soient sensiblement affleurantes à la surface de guidage (18.1, 30.1) de flux d'air (F1) du carter (18, 30).

FIG 1

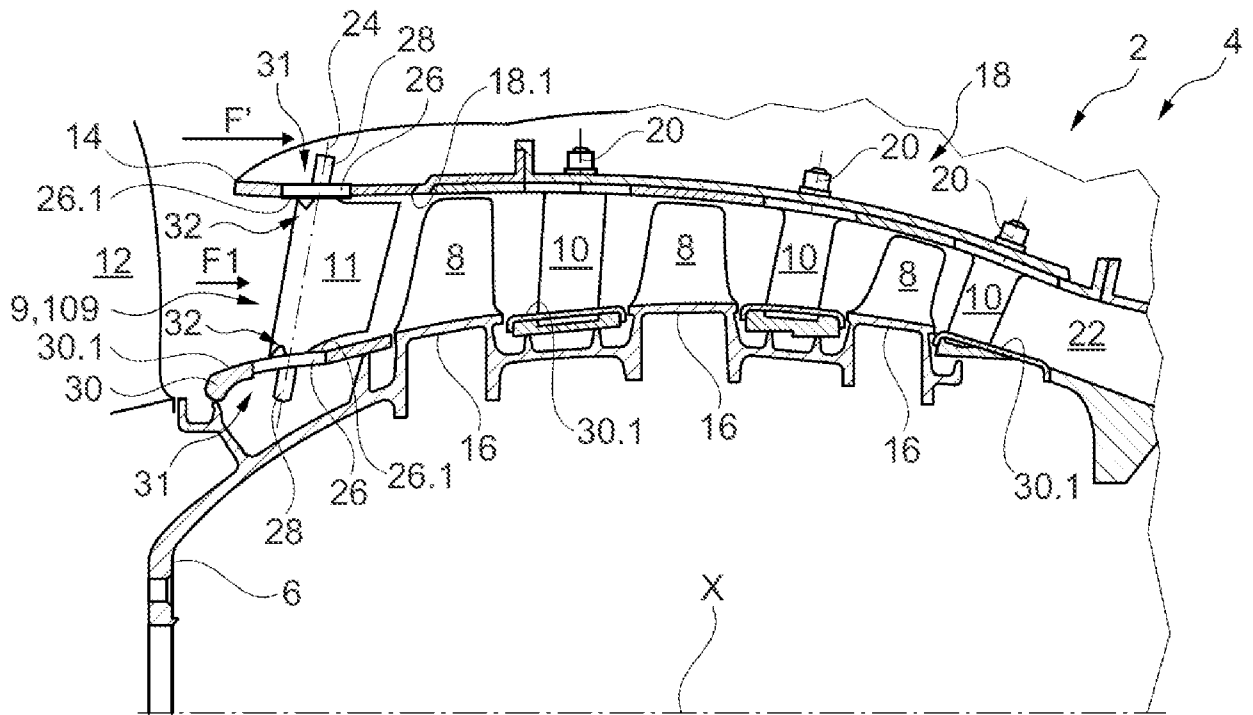


FIG 2

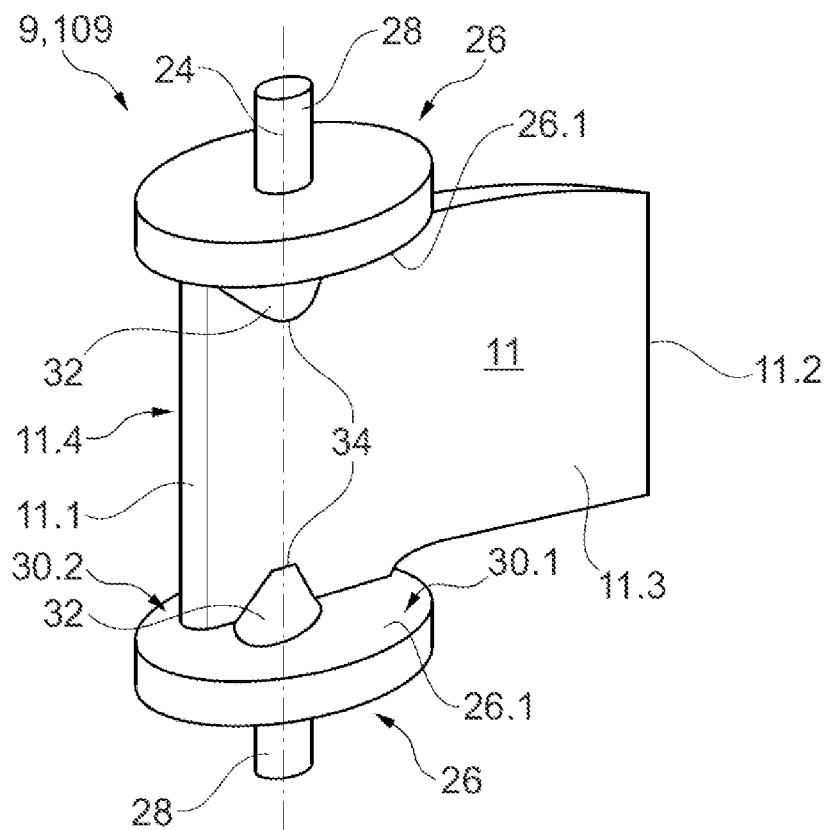


FIG 3

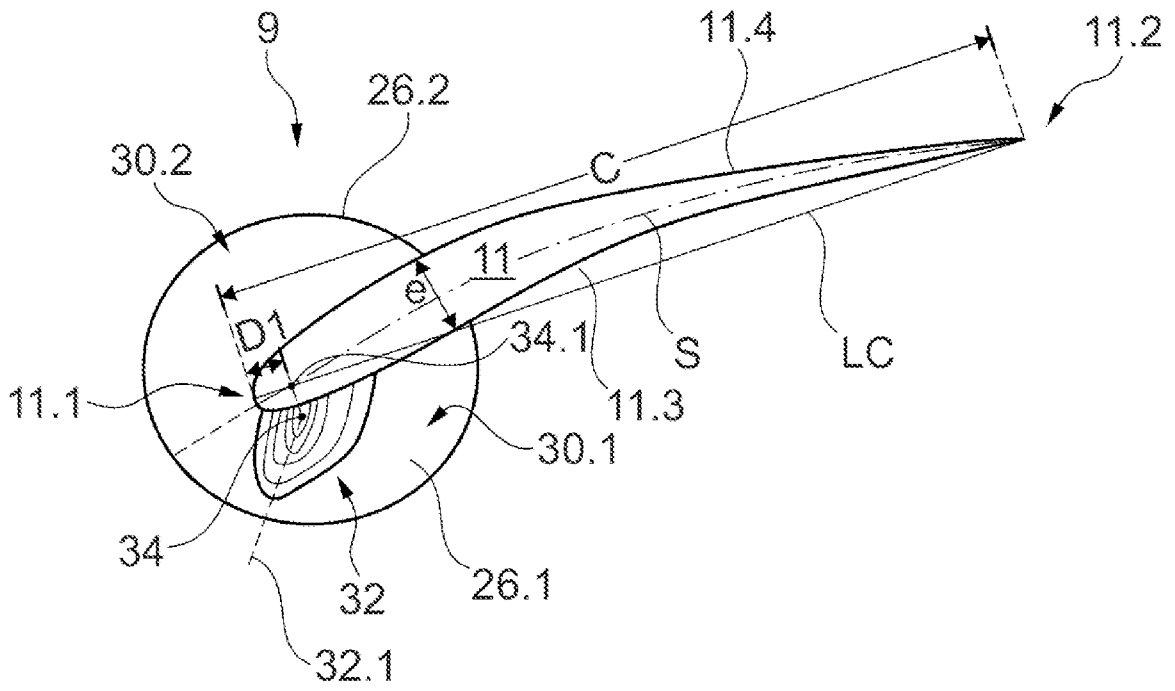


FIG 4

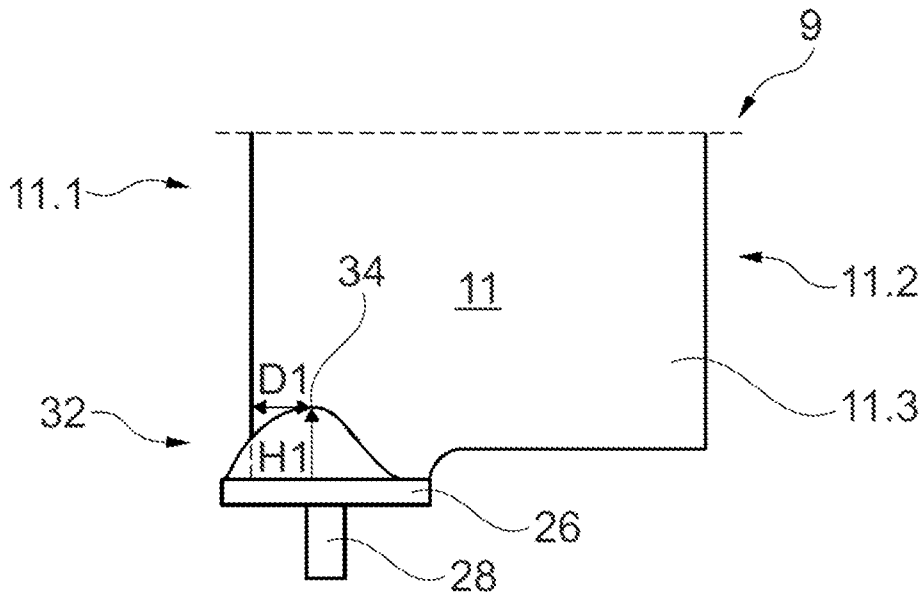


FIG 5

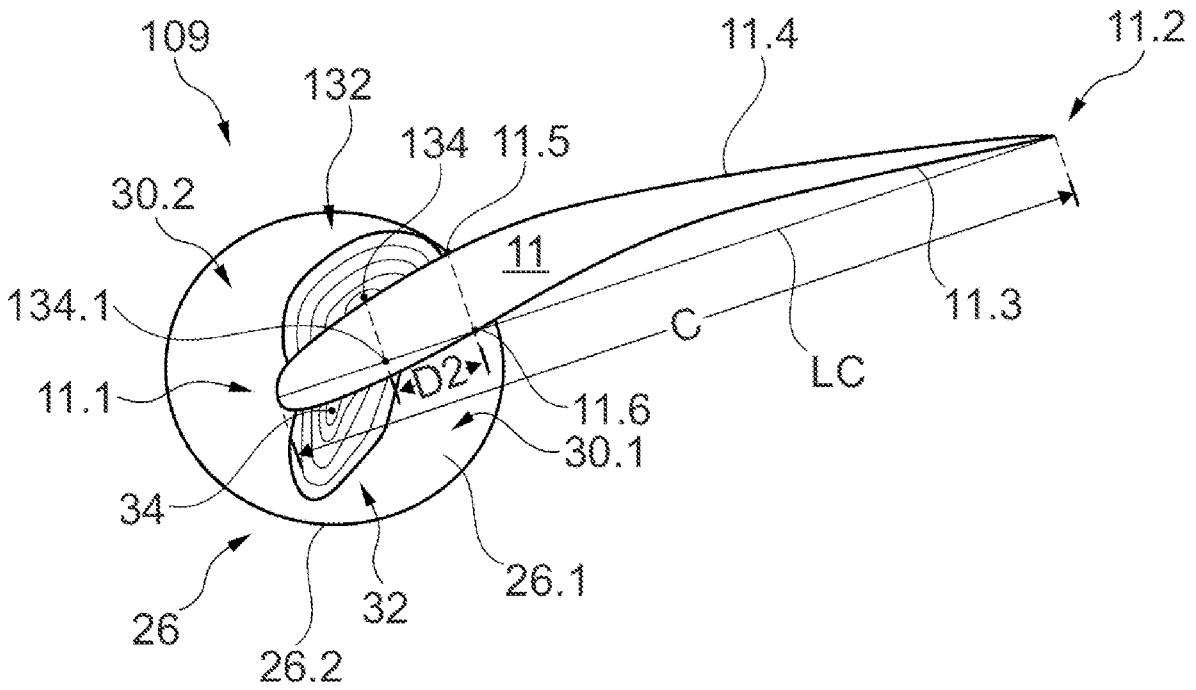


FIG 6

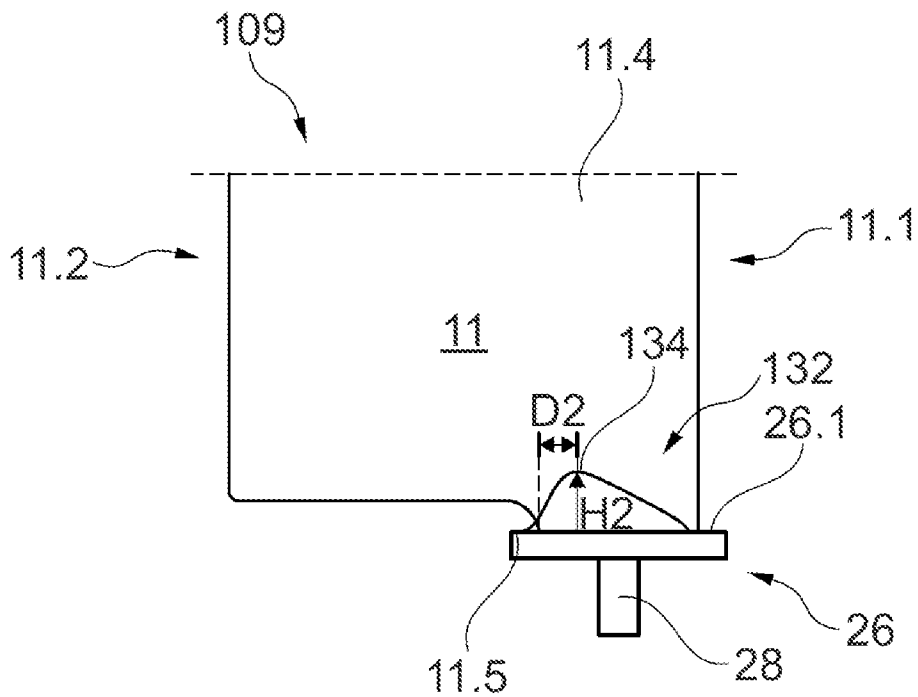
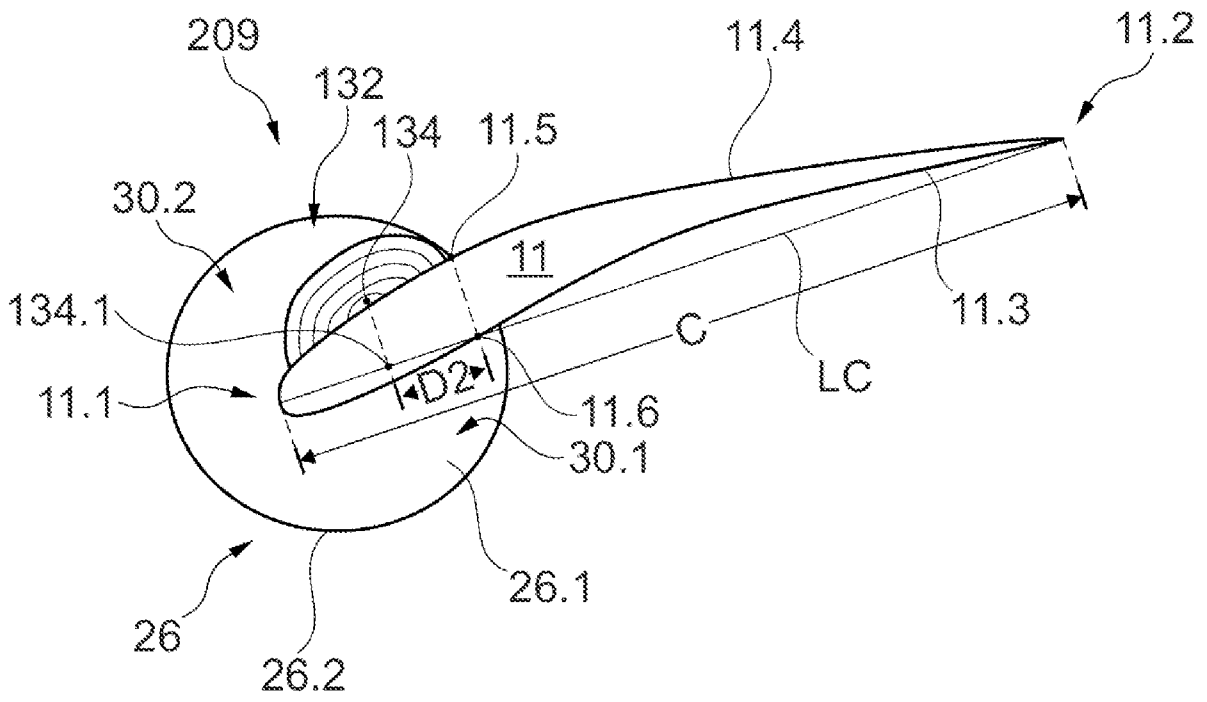


FIG 7





**RAPPORT DE RECHERCHE**  
 établi en vertu de l'article XI.23., §2 et §3  
 du Code de droit économique belge

**BO 12543**  
**BE 202205620**

<b>DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
<b>A, D</b>	<b>WO 2019/228897 A1 (SAFRAN AERO BOOSTERS SA [BE]) 5 décembre 2019 (2019-12-05)</b> * page 8, ligne 4 - ligne 5; figure 3 * -----	<b>1-12</b>	<b>INV.</b> <b>F01D17/16</b>
<b>A</b>	<b>EP 3 561 387 A1 (ROLLS ROYCE PLC [GB]) 30 octobre 2019 (2019-10-30)</b> * alinéa [0030]; figures 5-7 * -----	<b>1-12</b>	<b>ADD.</b> <b>F01D5/14</b>
			<b>DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)</b>
			<b>F01D</b>
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
<b>22 septembre 2022</b>		<b>Raspo, Fabrice</b>	
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>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</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention                      E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date                      D : cité dans la demande                      L : cité pour d'autres raisons                      .....                      &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET BELGE NO.**

**BO 12543  
BE 202205620**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche visé ci-dessus.  
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

**22-09-2022**

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
<b>WO 2019228897 A1</b>	<b>05-12-2019</b>	<b>BE 1026325 A1</b>	<b>06-01-2020</b>
		<b>EP 3803055 A1</b>	<b>14-04-2021</b>
		<b>WO 2019228897 A1</b>	<b>05-12-2019</b>
-----			
<b>EP 3561387 A1</b>	<b>30-10-2019</b>	<b>CN 110397504 A</b>	<b>01-11-2019</b>
		<b>EP 3561387 A1</b>	<b>30-10-2019</b>
		<b>US 2019323355 A1</b>	<b>24-10-2019</b>
-----			



## OPINION ÉCRITE

Dossier N° BO12543	Date du dépôt(jour/mois/année) 09.08.2022	Date de priorité (jour/mois/année)	Demande n° BE202205620
Classification internationale des brevets (CIB) INV. F01D17/16 ADD. F01D5/14			
Déposant SAFRAN AERO BOOSTERS			

La présente opinion contient des indications et les pages correspondantes relatives aux points suivants :

- Cadre n° I Base de l'opinion
- Cadre n° II Priorité
- Cadre n° III Absence de formulation d'opinion quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle
- Cadre n° IV Absence d'unité de l'invention
- Cadre n° V Déclaration motivée quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration
- Cadre n° VI Certains documents cités
- Cadre n° VII Irrégularités dans la demande
- Cadre n° VIII Observations relatives à la demande

	Examineur Raspo, Fabrice
--	-----------------------------

**Cadre n° I Base de l'opinion**

1. Cette opinion a été établie sur la base des revendications déposées avant le commencement de la recherche.
2. En ce qui concerne **la ou les séquences de nucléotides ou d'acides aminés** divulguées dans la demande, la présente opinion a été effectuée sur la base d'un listage des séquences
  - a.  faisant partie de la demande telle que déposée.
  - b.  remis postérieurement à la date du dépôt aux fins de la recherche,
    - accompagné d'une déclaration selon laquelle le listage des séquences ne va pas au-delà de la divulgation faite dans la demande telle que déposée.
3.  En ce qui concerne la ou les séquences de nucléotides ou d'acides aminés divulguées dans la demande, la présente opinion a été effectuée dans la mesure où une opinion valable pouvait être formulée en l'absence d'un listage des séquences conforme à la norme ST.26 de l'OMPI.
4. Commentaires complémentaires :

**Cadre n° V Opinion motivée quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration**

1. Déclaration

Nouveauté	Oui : Revendications	1-12
	Non : Revendications	
Activité inventive	Oui : Revendications	1-12
	Non : Revendications	
Possibilité d'application industrielle	Oui : Revendications	1-12
	Non : Revendications	

2. Citations et explications

**voir feuille séparée**

**Ad point V**

**Déclaration motivée quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle ; citations et explications à l'appui de cette déclaration**

Le document suivant a été cité par le demandeur dans la description :

D1 WO 2019/228897 A1 (SAFRAN AERO BOOSTERS SA [BE]) 5 décembre 2019 (2019-12-05)

Il est également fait référence au document suivant :

D2 EP 3 561 387 A1 (ROLLS ROYCE PLC [GB]) 30 octobre 2019 (2019-10-30)

**Nouveauté : Différences par rapport à l'état de la technique.**

**D1** évoque en figure 3 et en page 8, lignes 4-5

une aube 34 à calage variable de stator de turbomachine 2 d'aéronef, l'aube comprenant :

- une pale de guidage d'un flux d'air, la pale ayant un bord d'attaque et un bord de fuite, ainsi qu'un intrados et un extrados s'étendant depuis le bord d'attaque jusqu'au bord de fuite ; et
- une ou deux plateformes disposées à une extrémité ou aux deux extrémités de la pale, la ou les plateformes comprenant une surface de guidage du flux d'air.

**D2** évoque au paragraphe 30 une aube à calage variable de stator de turbomachine 10 d'aéronef, l'aube comprenant *implicitement*:

- une pale de guidage d'un flux d'air, la pale ayant un bord d'attaque et un bord de fuite, ainsi qu'un intrados et un extrados s'étendant depuis le bord d'attaque jusqu'au bord de fuite ; et
- une ou deux plateformes disposées à une extrémité ou aux deux extrémités de la pale, la ou les plateformes comprenant une surface de guidage du flux d'air.

Par conséquent, l'objet de la **revendication 1** diffère de cette à calage variable de stator de turbomachine d'aéronef connue en ce que:

- *la surface comprenant une première portion de disque du côté de l'intrados et une seconde portion de disque du côté de l'extrados, et en ce que*
- *la ou au moins une des premières ou secondes portions de disque comprend une bosse.*

### **Activité inventive**

#### Etat de la technique le plus proche

L'un quelconque de **D1** ou **D2** peut-être alternativement considérée comme état de la technique le plus proche.

#### Effet technique et problème à résoudre

L'effet technique desdites différences est de *permettre la lutte contre les vortex et flux indésirables en dépit les variations de calage de l'aube.*

Le problème que la présente invention se propose de résoudre peut donc être considéré comme *d'éviter les instabilités et pertes d'efficience pour les aubes à calage variables.*

#### Solution

La provision d'au moins une bosse sur au moins une des portions intrados et extrados d'au moins une de l'une ou deux plateformes.

#### Pourquoi est-ce inventif ?

*Aucun des documents disponibles de l'état de la technique ne divulgue ni ne rend évidentes lesdites différences d'une manière qui puisse être directement et immédiatement appliquée audit état de la technique le plus proche.*

*Certes, chacun de **D1** aux figures 3-4 et **D2** aux figures 5-7 divulgue l'au moins une bosse, cela est exclusivement considéré dans le cas d'aubes fixes, sans calage variable, de stator de turbomachine d'aéronef, et non dans le cas d'aubes à calage variable de stator de turbomachine d'aéronef évoquées par ailleurs.*

Quand bien même un expert s'attacherait artificiellement et sans indication à appliquer à une aube à calage variable de **D1** ou **D2** la partie des caractéristiques manquantes concernant la bosse, il lui manquerait non seulement une divulgation dans **D1** ou **D2** de l'autre partie des caractéristiques manquantes selon laquelle *la surface comprenant une première portion de disque du côté de l'intrados et une seconde portion de disque du côté de l'extrados.*

*Même en utilisant alors un document tiers divulguant ledit disque et ces deux portions intrados/extrados du disque, l'expert se heurterait forcément à l'incompatibilité d'appliquer la bosse librement disposée sur l'ensemble de la plateforme d'aube fixe de stator de **D1** et **D2**, sur uniquement une portion limitée en forme de disque de la surface de guidage du flux d'air. La limitation à la surface d'un disque constitue à priori une entrave totale à la disposition de ladite bosse telle qu'indiquée dans **D1** et **D2**.*

Les revendications 2-12 dépendent de la **revendication 1** et satisfont donc également, en tant que telles, aux exigences de nouveauté et d'activité inventive.