

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①1 N° de publication :

3 078 101

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national :

18 51361

⑤1 Int Cl⁸ : F 01 D 5/14 (2018.01)

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 16.02.18.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 23.08.19 Bulletin 19/34.

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 :

Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : SAFRAN AIRCRAFT ENGINES
Société par actions simplifiée — FR.

⑦2 Inventeur(s) : GEA AGUILERA FERNANDO, FIACK
MATTHIEU et GRUBER MATHIEU, SIMON, PAUL.

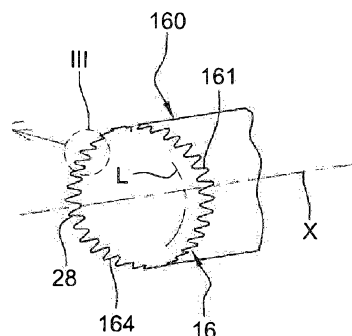
⑦3 Titulaire(s) : SAFRAN AIRCRAFT ENGINES Société
par actions simplifiée.

⑦4 Mandataire(s) : ERNEST GUTMANN YVES PLASSE-
RAUD SAS Société par actions simplifiée.

⑤4 TURBOMACHINE A BEC DE SEPARATION DE FLUX A PROFIL EN SERRATIONS.

⑤7 Est concernée une turbomachine à soufflante avant,
comportant une paroi (160) annulaire de séparation pour-
vue d'un bec (16), pour la séparation d'un flux d'air entre un
flux primaire et un flux secondaire, le bec (3) présentant un
bord d'attaque ; des aubes IGV (24) de guidage du flux pri-
maire et des aubes OGV (26) de guidage du flux secon-
daire.

Le bord d'attaque du bec (16) présente un profil (28) à
serrations présentant une succession de dents et de creux.



FR 3 078 101 - A1



TURBOMACHINE A BEC DE SEPARATION DE FLUX A PROFIL EN SERRATIONS

L'invention concerne le domaine de la gestion aéro-acoustique
5 d'aubes fixes dans une turbomachine pour aéronef ou dans un banc d'essai
de turbomachine pour aéronef.

Ce type d'aube fixe se retrouve par exemple sur des aubes directrices
de sortie OGV (outlet guide vane), ou redresseurs, disposés en aval d'un corps
tournant pour redresser le flux d'air. On parlera d'aube de stator pour désigner
10 une aube fixe, à l'inverse des aubes en rotation.

Un exemple sera donné pour une turbomachine double flux avec une
soufflante (avant) et un redresseur disposé en veine secondaire.

Dans un certain nombre de moteurs turbofans, dont notamment les
turboréacteurs Ultra-High Bypass Ratio (UHBR; configuration de moteur à
15 soufflante carénée à très haut taux de dilution, au-delà de 15), il est envisagé
d'augmenter le diamètre de la soufflante et de réduire la longueur de la nacelle
par laquelle la turbomachine est suspendue à l'aéronef, diminuant ainsi la
distance entre la soufflante et les aubes directrices d'entrée IGV (Inlet Guide
Vanes), les OGV et le bec. Dans ce type de moteur, l'interaction du sillage de
20 la soufflante avec les IGV, les OGV et le bec est une des sources de bruit à
large bande dominante. En conséquence, des nouvelles solutions techniques
doivent être analysées pour maintenir et réduire les niveaux acoustiques
actuels.

Est ainsi concernée par l'invention une turbomachine à soufflante
25 (avant) et qui présente un axe général (X) autour duquel peut tourner la
soufflante, la turbomachine comportant:

- une paroi annulaire de séparation pourvue d'un bec, pour la séparation d'un
flux d'air, en aval de la soufflante, entre un flux primaire (F_p) et un flux
secondaire (F_s), le bec présentant un bord d'attaque,
- 30 - des premières aubes (IGV) fixes de guidage du flux primaire,
- des secondes aubes (OGV) fixes de guidage du flux secondaire.

L'interaction entre l'écoulement mis en rotation par la soufflante et le redresseur dans la veine secondaire est à l'origine d'une source de bruit supposée prédominante sur le bruit total généré par la turbomachine, voire par l'aéronef selon les régimes de fonctionnements.

5 Dans ce contexte, pour au moins limiter tout ou partie des problèmes ci-avant mentionnés, il est proposé que le bord d'attaque du bec de ladite paroi annulaire de séparation présente un profil à serrations présentant une succession de dents et de creux.

10 En d'autres termes, il est proposé ici d'utiliser un bec à bord d'attaque ondulé pour réduire le bruit d'interaction entre le sillage des aubes de la soufflante et le bec. Il est à ce sujet à noter que la distance axiale entre le bec et le bord de fuite des aubes de la soufflante est relativement courte, et que donc le bec peut être exposé à des niveaux de turbulence d'air plus élevés que ceux perçus par les OGVs et IGVs.

15 Pour les profils aérodynamiques à bord d'attaque à serrations, c'est-à-dire ondulé, quelle que soit la forme de ces ondulations (voir ci-après), le bruit d'interaction avec un écoulement turbulent est en particulier produit au niveau des creux des ondulations, là où les fluctuations de pression sont plus intenses.

20 Un but corollaire est donc d'optimiser la géométrie des ondulations pour réduire le bruit rayonné par un bec à bord d'attaque ondulé en minimisant la corrélation entre les sources de bruit et le fond des creux.

25 Pour réduire cette corrélation, tout ou partie de trois critères ont été considérés comme à prendre en considération, pour définir les ondulations, lesquelles pourraient être de type sinusoïdal ou triangulaire, entre autres.

Plus précisément, il est proposé d'alors considérer un profil à serrations présentant des ondulations:

- qui définissent :

30 -- suivant une direction d'allongement du bord d'attaque, une géométrie élémentaire qui se répète (profil obéissant donc à une loi périodique), deux ondulations identiques de deux géométries élémentaires successives

suivant ladite direction présentant entre elles, suivant cette direction, une distance, λ (en m),

-- et une amplitude maximale, h (en m), perpendiculairement à ladite direction, et

5 - qui obéissent à l'un au moins des critères a), b), c) suivants :

a) l'amplitude maximale est dimensionnée en respectant la relation :

$$l_{11}^{(k)} / h < 1$$

à 40% près, dans la formule :

$$l_{ij}^{(k)} = \int_0^{\infty} \frac{\langle u'_i(\mathbf{x} + r\mathbf{e}_k) u'_j(\mathbf{x}) \rangle}{\langle u'_i(\mathbf{x}) u'_j(\mathbf{x}) \rangle} dr \quad \text{avec :}$$

10 -- u'_i (en m/s) qui est la vitesse du flux d'air dans la direction i , entre la soufflante et les premières aubes (5, IGV),

-- r qui est la distance (en m) entre deux points du sillage - de la soufflante -, dans la direction k ,

-- $l_{11}^{(k)}$ qui est l'échelle intégrale du flux d'air généré par la soufflante :

15 --- dans (parallèlement à) l'axe général de la turbomachine (axe X figure 2), ou

--- dans la direction d'une corde du profil (si une telle corde existe ; cf. repère 40 figure 3),

20 b) : la périodicité où l'espacement entre deux dents consécutives respecte la relation suivante :

$$e < \lambda \leq d - e \quad \text{où} \quad d/\lambda \neq 1, 2, 3, \dots, \text{ avec :}$$

25 -- e qui est la largeur (en m) caractéristique du déficit de sillage (flux d'air) généré par la soufflante en aval d'une aube de cette soufflante, ladite largeur étant calculée au point où l'on retrouve la moitié de l'énergie cinétique turbulente maximale, K_{\max} , dans la partie correspondante du flux d'air généré, au bord d'attaque du bec ; e pouvant être estimé à partir

du critère $\underline{e} = l_{22}^{(2)}/0,21$ (où $l_{22}^{(2)}$ est l'échelle intégrale du flux d'air généré par la soufflante dans la direction circonférentielle), à 40% près, et

-- \underline{d} qui est l'espacement (en m) entre deux aubes de soufflante consécutives circonférentiellement, au rayon qui correspond au bord d'attaque du bec (voir Figure 13),

c) : le nombre de dents, de creux, ou de périodes de répétition de la géométrie élémentaire sur la longueur du bord d'attaque du profil à serrations est égal, à 40% près, au nombre des premières aubes (IGV).

Dans le présent texte, les paramètres dimensionnels (amplitude, distance, vitesse... etc) sont à considérer en unité SI.

Par ailleurs, concernant les indices ou exposants (i, j, k) dans les formules du présent texte, on, notera dès à présente que, par exemple, la figure 13 montre des profils d'aubes 140 de la soufflante, ainsi que le sillage du flux en aval et un bec 16, où, si les indices (i, j, k) :

- sont égaux à 1, ils correspondent à la direction "X" (axe général de la turbomachine),

- sont égaux à 2, ils correspondent à la direction "Y" (circonférentielle).

Ainsi, la direction d'allongement du bord d'attaque du bec 16 (L figure 2 ou 13) correspond à la direction circonférentielle « Y », ou à l'exposant « 2 » de $l_{22}^{(2)}$ sur la figure 13.

On aura en outre compris que « r » est la variable d'intégration dans l'équation ci-avant relative à $l_{ij}^{(k)}$, pour le calcul de l'échelle intégrale.

S'il n'y a pas strictement de « corde » comme dans le cas d'un bec (repéré 16 ci-après) de séparation entre les flux primaire et secondaire, on considèrera que « dans la direction de la corde (repérée 40 ci-après) du profil » correspond, dans ce cas, à la direction dudit axe général.

Normalement, au moins avec un profil à géométrie élémentaire périodique non excessivement torturé, il doit s'avérer que l'écoulement ou flux d'air généré par la soufflante contourne le bord d'attaque ondulé au niveau des (sommets des) dents pour s'accélérer près des creux.

Dans ce cas, pour éviter d'avoir des zones de turbulences et/ou de survitesses trop importantes au niveau de la zone carter du bord d'attaque des premières aubes (IGV), il est proposé qu'autour dudit axe général (X), certains au moins des creux du profil à serrations soient décalés angulairement par rapport à la position angulaire des premières aubes (IGV), de telle sorte que ces (certains au moins des) creux soient angulairement interposés entre deux premières aubes (IGV) circonférentiellement successives.

Le flux d'air généré axialement en aval la soufflante est tourbillonnant et est fortement influencé par le sens de rotation et la vitesse de rotation de la soufflante.

Pour en tenir compte afin que les surfaces des dents puissent être aussi pleinement actives que possible dans l'effet acoustique attendu, il est proposé que les dents se développent individuellement de façon inclinée par rapport à une parallèle audit axe général (X), de sorte à être orientées vers la direction de rotation - globalement oblique par rapport audit axe X - de l'écoulement tournant généré donc par la rotation de la soufflante.

Autrement dit :

- la soufflante est adaptée à tourner dans un sens prédéterminé autour de l'axe général précité (X), de sorte que le flux d'air en aval de la soufflante sera globalement orienté obliquement par rapport à cet axe (X), et
- les dents pourront alors être, circonférentiellement autour dudit axe général (X), inclinées vers l'orientation globalement oblique du flux d'air en aval de la soufflante, pour lui faire globalement face.

Il est aussi possible que les dents soient inclinées dans la direction de la cambrure des IGV, car la direction du flux d'air peut varier en fonction de la vitesse de rotation de la soufflante.

Dans les deux cas, les dents seront de fait individuellement non symétriques axialement par rapport à une parallèle audit axe général (X) passant par le sommet de la dent considérée.

A priori l'inclinaison sera la même pour toutes les dents, même si des inclinaisons différentes suivant les dents est possible.

Encore pour tenir compte de l'influence de la rotation de la soufflante, et pour limiter l'impact acoustique sur les IGV dudit flux d'air tourbillonnant, il est aussi proposé:

- 5 - a) que lesdites secondes aubes (IGV) présentant globalement une ligne de cambrure moyenne, certaines au moins des dents soient, circonférentiellement autour dudit axe général (X), orientées globalement dans la direction d'une tangente à la ligne de cambrure moyenne de ces IGV, au niveau des bords d'attaque de ces derniers, la tangente pouvant former un angle (β) non nul par rapport à la direction de l'axe général (X) de la

10 turbomachine et/ou
- b) que, dans la direction dudit axe général (X), les fonds des creux du profil à serrations appartiennent au moins pour certains à une première surface transversale audit axe général (X), cette première surface étant positionnée

15 plus en aval ou plus en amont qu'une seconde surface transversale audit axe général (X) à laquelle appartiennent au moins certains des bords d'attaque des secondes aubes (IGV).

Le point a) assure une orientation angulaire favorable du flux d'air par rapport à la forme des IGV ; le point b) assure un guidage poursuivi vers l'aval du flux d'air par rapport à ces mêmes IGV, de sorte que ce flux les

20 attaque alors qu'il glisse encore le long des dents et est donc encore directement orienté par elles.

En termes de formes, il est par ailleurs proposé que les dents et creux du profil à serrations présentent individuellement une forme ondulée, avec des sommets arrondis ou pointus.

25 L'avantage de sommets arrondis; est que ceci permet d'éviter des concentrations de contraintes mécaniques trop fortes localement et d'obtenir ainsi une meilleure robustesse dans le temps. L'avantage de sommets pointus est qu'il présente un potentiel de réduction de bruit accru.

30 Selon une autre considération, il est proposé que les dents et creux du profil à serrations présentent individuellement une forme à parois latérales localement rectilignes, avec le même avantage.

Bien que présenté en liaison avec la propulsion d'un aéronef, les caractéristiques de la turbomachine pourraient concerner d'autres applications, terrestres ou maritimes.

L'invention sera si nécessaire mieux comprise et d'autres détails, caractéristiques et avantages de l'invention pourront apparaître à la lecture de la description qui suit faite à titre d'exemple non limitatif en référence aux dessins annexés.

Dans ces dessins :

- la figure 1 est un schéma en coupe longitudinale (axe X) d'une turbomachine conventionnelle d'aéronef;
- la figure 2 schématise la zone amont (bec) de la paroi de séparation entre les flux primaire et secondaire, avec une solution conforme à l'invention ;
- la figure 3 est le détail III de la figure 2;
- la figure 4 est le détail IV de la figure 1 ;
- les figures 5-8 schématisent diverses formes de profils à serrations conformes à l'invention;
- les figures 9-11 schématisent des profils à serrations conformes à l'invention, et des lignes d'écoulement d'air ;
- la figure 12 est une courbe d'évolution de l'énergie cinétique turbulente du flux d'air primaire, K, dans le sillage d'une aube de la soufflante à une hauteur d'aube constante, suivant la direction circonférentielle Y; et
- la figure 13 schématise notamment la courbe d'intensité du flux d'air turbulent suivant la direction circonférentielle Y, entre les aubes de la soufflante amont et un exemple de profils à serrations du bec de séparation des flux ; cette figure représente une coupe à rayon constant faite au niveau du bec.

Si l'on se reporte à la figure 1, un turboréacteur 10 d'aéronef 100 est représenté de façon très schématique et est défini comme suit :

La nacelle 12 sert d'enveloppe extérieure aux différents organes, parmi lesquels, à l'avant (gauche sur la figure 1) une soufflante 14 amont (AM).

En aval (AV) de la soufflante 14, le flux d'air (localement schématisé 38 figure 4) est séparé par le bec séparateur 16 d'une paroi annulaire 160 en un flux d'air primaire et un flux d'air secondaire. Le flux d'air primaire parcourt un passage d'air annulaire interne ou veine primaire 18 en pénétrant dans le compresseur basse pression 22 au niveau des aubes directrices d'entrée 24 IGV, dites aussi premières aubes. Le flux d'air secondaire est dévié par le bec séparateur 16 dans un passage d'air annulaire externe 20 (veine secondaire) en direction des aubes directrices de sortie 26 OGV, dites aussi secondes aubes, puis vers la sortie du moteur.

Sur la figure 2, on visualise de façon plus précise la partie avant 161 du bec séparateur 16 comprenant le bord d'attaque 164 situé le plus en amont et au niveau duquel la paroi externe 162 du bec séparateur 16 rejoint la paroi interne 163 du bec séparateur 16, la paroi supérieure 162 formant la virole intérieure de la veine secondaire 20.

A toutes fins, il est précisé que, dans le présent texte, est axial ce qui s'étend suivant ou parallèlement à l'axe longitudinal (X) de rotation de la partie concernée de la turbomachine, lequel axe sera a priori l'axe général de rotation de cette turbomachine. Est radial (axe Z) et est circonférentiel ce qui s'étend radialement à l'axe X et autour de lui, respectivement. Est interne ou intérieur et externe ou extérieur ce qui l'est radialement, vis-à-vis de l'axe X. Ainsi, la paroi interne 163 est la paroi radialement interne du bec séparateur 16. Par ailleurs, les références amont et aval sont à considérer en liaison avec l'écoulement des gaz dans la (partie de) turbomachine considérée : ces gaz entrent à l'amont et sortent à l'aval, en circulant globalement parallèlement à l'axe longitudinal de rotation précité.

En outre, les dessins joints, et les descriptions qui s'y rapportent, ont été définis en référence au repère orthogonal conventionnel X-Y-Z, avec donc l'axe X comme ci-dessus défini.

Le bec séparateur 16 est creux, la face extérieure de la paroi 162 servant de limite radialement interne au passage d'air annulaire externe 20 recevant le flux secondaire tandis que la face intérieure de la paroi 163 sert de

limite radialement externe au passage d'air annulaire interne 18 recevant le flux primaire.

La paroi inférieure 163 du bec séparateur 16 forme la virole extérieure du compresseur basse pression 22.

5 Même si le décalage axial (X) vers l'aval des aubes IGV 24 de sortie 26 par rapport au bord d'attaque 164 du bec séparateur 16 est moindre par rapport à celui des aubes OGV 26 par rapport à ce même bord d'attaque 164, la portion de la partie avant 161 directement adjacente au bord d'attaque 164 du bec séparateur 16 est dégagée.

10 Pour l'effet induit de gestion aéro-acoustique par limitation du bruit généré par cette zone, on peut donc prévoir que ce bord d'attaque 164 présente un profil 28 à serrations présentant une succession de dents 30 et de creux 32.

15 Pour réduire la corrélation entre les sources de bruit le long du bord d'attaque à profil à serrations 28, il est proposé de considérer en tout ou partie trois critères à prendre en compte pour les serrations, qui pourrait être de type sinusoïdal ou triangulaire, entre autres, comme le montre les figures.

- **Premier critère : Echelle intégrale de la turbulence.**

20 Il est proposé d'estimer la longueur d'onde des serrations, λ , et l'amplitude, h , à partir des échelles intégrales de la turbulence.

Plus précisément, on va considérer que le profil 28 à serrations présente des ondulations qui définissent :

25 - suivant une direction (L) d'allongement du bord d'attaque 164 (figures 2-3), une géométrie élémentaire qui se répète, deux ondulations identiques (ou quasi-identiques, quand deux dents consécutives présentent de petites variations de géométries, à +/- 15%) de deux géométries élémentaires successives, telles que 34,36 figures 5-6, suivant ladite direction L présentant entre elles, suivant cette direction, une distance, λ (en m), et

30 - une amplitude maximale, h (en m), perpendiculairement à cette direction L.

L'amplitude maximale h est définie comme la distance maximale, suivant l'axe X, entre le sommet - le plus proéminent s'il en existe - des dents

30 et le fond des creux 32 - le plus profond s'il en existe -, comme on le voit figure 5 dans l'hypothèse d'une géométrie élémentaire à plusieurs ondulations, deux de préférence - deux dents 30 différentes et deux creux 32 différents -, avec dans ce cas : $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$.

- 5 Selon ce premier critère, on choisira que l'amplitude maximale h soit dimensionnée en respectant la relation :

$$l_{11}^{(k)}/h < 1$$

à 40% près, dans la formule générale :

$$l_{ij}^{(k)} = \int_0^{\infty} \frac{\langle u'_i(\mathbf{x} + r\mathbf{e}_k)u'_j(\mathbf{x}) \rangle}{\langle u'_i(\mathbf{x})u'_j(\mathbf{x}) \rangle} dr \quad (*) \text{ avec :}$$

- 10 - u'_i (en m/s) qui est la vitesse du flux d'air dans la direction i et entre la soufflante 14 et les aubes IGV 24,
 - r qui est la distance (en m) entre deux points du sillage de la soufflante dans la direction k , et

- 15 - $l_{11}^{(k)}$ qui est l'échelle intégrale du flux d'air 38 (figure 4) généré par la soufflante 14 dans la direction de l'axe général de la machine (figure 2) ou de la corde 40 du profil (figure 3).

- 20 (*) : Pour tout détail ou explications complémentaires, on se référera à la formule (5) et à ses données associées, telles que publiées dans l'article de la conférence AIAA « Wavy Leading Edge Airfoils Interacting with Anisotropic Turbulence », AIAA 2017-3370 ; page 4/16. Il y est précisé que : u'_i représente la i ème composante de ladite vitesse du flux d'air, r est la séparation entre deux points dans la k ème direction, \mathbf{e}_k est un vecteur unitaire dans la k ème direction, et $\langle \cdot \rangle$ est l'opérateur moyen d'ensemble (ensemble average operator). Par conséquent, $l_{ij}^{(k)}$ est l'échelle de longueur intégrale (integral

length scale) des ième et jème composantes de ladite vitesse dans la kième direction spatiale.

En utilisant ces définitions, la taille des serrations qui sert à optimiser le bruit à large bande d'un profil 28 devra satisfaire :

$$5 \quad l_{11}^{(1)}/h < 1 \quad \text{et} \quad l_{22}^{(2)}/\lambda \leq 0.5$$

où $l_{11}^{(1)}$ et $l_{22}^{(2)}$ seront les échelles intégrales du flux d'air 38 turbulent dans les directions de la corde 40 du profil (suivant sensiblement ledit axe général donc) et de la direction L d'allongement du bord d'attaque 164, respectivement (cf. figures 5-8 et 13).

10 Ces valeurs permettent d'optimiser la réduction de bruit à large bande généré par le bec 16 en présence d'un flux d'air turbulent isotrope.

Or, on peut considérer que ceci n'est pas le cas pour le du flux d'air ou sillage 38 de la soufflante 14, qui n'est en réalité pas turbulent isotrope quand celle-ci fonctionne.

15 Par conséquent, on peut décider d'appliquer le second critère qui suit, seul ou en combinaison avec le premier critère, pour une adaptation favorable aux spécificités opérationnelles d'un bec tel que 164.

- **Deuxième critère : Réduction des creux à rayonnement acoustique maximal.**

20 Il est par là proposé de réduire le nombre de creux 32 du bord d'attaque 164 qui sont impactés par les sillages individualisés 38, simultanément. La figure 13 permet ainsi d'observer que les niveaux maximaux (zones Im) de l'intensité (ou taux) I du flux d'air 38 se situent dans les sillages que chaque aube 140 de la soufflante 14. Ces niveaux maximaux sont directement liés à
25 l'amplitude du rayonnement acoustique du bec 16.

A cette fin de de réduction du nombre de creux 32, il est d'abord proposé d'appliquer une condition additionnelle à la conception et réalisation du bord d'attaque 164 à profil en serrations afin d'éviter qu'un seul sillage d'aube 140 de la soufflante ait sensiblement simultanément un impact sur deux creux 32
30 circonférentiellement consécutifs.

Cette condition est donnée par $\lambda > e$, où e correspond à la largeur du sillage - flux d'air 38 généré par la soufflante – en aval d'une aube 140, sensiblement dans sa continuité (voir figure 13). Cette largeur locale du sillage est calculée au point où l'on retrouve la moitié de l'énergie cinétique turbulente maximale, K_{max} , dans le sillage de cette aube, au bord d'attaque 164 du bec 16, comme le montre la figure 12. La valeur e peut être estimée à partir de données d'essais ou à partir du critère $e = l_{22}^{(2)} / 0,21$ à 40% près. Les échelles intégrales de la turbulence peuvent aussi être estimées à partir de calculs de dynamique des fluides (Computational Fluid Dynamics - CFD).

Ensuite, il est proposé d'appliquer en outre une autre condition pour prendre en compte l'espacement ou distance d entre deux aubes de la soufflante 140 circonférentiellement consécutives au bord d'attaque 164 du bec 16; cf. figure 13. Le but est d'éviter un rayonnement acoustique maximal de plusieurs creux 32 dû à l'impact du sillage de plusieurs aubes 140 de la soufflante, simultanément. La réduction de bruit devrait être moins efficace si le nombre d'aubes est égal au nombre des creux qui rayonnent le maximum de bruit.

Aussi est-il proposé comme autre condition, pour la périodicité où l'espacement entre deux dents 30 consécutives, que :

$$e < \lambda \leq d - e \quad \text{où} \quad d/\lambda \neq 1, 2, 3, \dots, \text{ avec donc :}$$

- e qui est la largeur (en m) du flux d'air turbulent 38 (appelé "sillage de la soufflante" dans le vocabulaire technique) généré par la soufflante en aval d'une aube 140, ladite largeur étant calculée au point où l'on retrouve la moitié de l'énergie cinétique turbulente maximale, K_{max} , dans la partie correspondante du flux d'air généré, de préférence au niveau (ou proche) du bord d'attaque du bec, cf. figure 13 ; e pouvant être estimé à partir du critère $e = l_{22}^{(2)} / 0,21$, à 40% près (voir formule générale ci-avant), et
- d qui est l'espacement (en m) entre deux aubes 140 de soufflante circonférentiellement consécutives, de préférence au niveau (ou proche) du bord d'attaque du bec, cf. figure 13.

Le critère "e" sera avantageusement calculé au point le plus proche du bord d'attaque du bec.

- **Troisième critère : Positionnement des creux par rapport aux IGVs.**

5 Normalement, l'écoulement 38 contourne le bord d'attaque 164 à serrations au niveau des sommets des dents 30 pour s'accélérer près des fonds des creux 32 ; voir les lignes de courant fléchées schématisées figures 9-11.

10 Aussi est-il proposé, en substitution ou en complément de tout ou partie des conditions précédentes, d'appliquer une autre condition à la conception et réalisation du bord d'attaque 164 à profil en serrations, à savoir que le nombre de dents 30, de creux 32, ou de périodes λ (voir figures 5-8) de répétition de la géométrie élémentaire sur la longueur (direction \underline{L} ; donc ici le périmètre) du bord d'attaque 164 du profil à serrations est égal, à 40% près, au nombre des premières aubes IGV. 24

15 Comme schématisées figures 9-11, placer les IGV 24 dans l'alignement aérodynamique des dents 30, si le nombre d'IGV 24 et de dents 30 au bord d'attaque 164 est dans la proportion ci-dessus, sera aussi favorable.

20 Ainsi, pour éviter que des zones de turbulence importantes n'impactent le bord d'attaque des IGV dans la zone du carter, est-il proposé qu'autour de l'axe X, certains au moins des creux 32 du profil 28 à serrations soient décalés angulairement (circonférentiellement) par rapport à la position angulaire des aubes IGV 24, de telle sorte que ces creux 32 soient interposés entre deux premières aubes IGV 24 circonférentiellement successives, comme on le voit figures 9-11.

25 Sur ces figures, les IGV 24 sont même placés axialement (X) dans la continuité des dents 30 ; plus précisément chaque IGV 24 a été placé sensiblement dans l'alignement, suivant l'axe X, du sommet de la dent 30 qui le précède vers l'amont.

30 Figure 9, cet alignement est parallèle à l'axe général X. Et les dents 30, qui présentent chacune un sommet 31, y sont individuellement symétriques

par rapport à une parallèle à l'axe X, cette parallèle passant par le sommet 31 de la dent 30 considérée (voir la parallèle X1 par exemple).

Figures 10-11, les IGV 24 sont inclinés dans le plan X-Y par rapport à l'axe X ; angle β . Les dents 30 peuvent ainsi, circonférentiellement autour de cet axe X, être inclinées chacune du même angle β , dans la même direction que celle, commune, des IGV 24. En alternative, compte-tenu de l'influence de la rotation de la soufflante 14 (voir pointe de flèche dans l'exemple de la figure 2), les dents peuvent être inclinées dans la direction de l'écoulement à l'aval de la soufflante (, qui, comme figures 10-11, peut former un angle α avec l'axe X.

Un angle α et/ou β compris entre 15 et 60° pourrait être approprié, eu égard aux premiers résultats de tests menés. Ceci n'est pas limitatif.

Ainsi, tant les (bords d'attaque des) IGV 24 que les (bords d'attaque des) dents 30 font de fait globalement face au flux d'air 38 dont l'orientation globale oblique \underline{U} est le résultat de ses composantes U_x suivant X et U_y suivant Y, compte tenu du sens convenu de rotation de la soufflante 14 (flèche S).

En outre, les dents 30 sont individuellement non symétriques axialement par rapport à une parallèle (voir X'1 et X'2 figures 10-11) audit axe général X, cette parallèle passant là encore par le sommet 31 de la dent considérée.

Le but de ces positionnements peut être considéré comme double. Premièrement, il s'agit d'éviter l'interaction entre l'écoulement accéléré et turbulent produit dans les creux 32 et le bord d'attaque 25 des IGV (figures 9-11). Ceci peut en effet contribuer de manière significative au bruit du compresseur basse pression 22. Deuxièmement, cette solution technique pourra servir à optimiser l'entrée d'air de ce compresseur basse pression 22 et de réduire les pertes aérodynamiques éventuelles.

Comme montré figures 10-11, lesdites premières aubes/IGV 24 pourront présenter individuellement une ligne 240 de cambrure moyenne le long de leur corde, pour tenir compte de l'influence de la rotation de la soufflante 14.

Dans l'exemple retenu, l'extrados 241 est dirigé vers la direction positive Y, l'intrados du côté opposé.

5 Dans ces conditions, et encore pour limiter l'impact acoustique sur les IGV 24 du flux d'air tourbillonnant que la soufflante 14 génère donc en aval, il est aussi proposé, comme montré figures 10-11, que les dents 30 soient, circonférentiellement autour dudit axe général X, orientées globalement dans la direction d'une tangente 42 à ladite ligne 240 de cambrure moyenne des aubes IGV 24, au niveau de leurs bords d'attaque 25 pour améliorer l'incidence de l'écoulement relatif impactant les IGVs à proximité du carter de la veine
10 primaire et ainsi limiter les impacts négatifs potentiels en termes de décollements, et/ou les pertes de performances de la grille IGV. Par « globalement », on entend des angles identiques, à 40% près. Comme montré figures 10-11, ladite tangente pourra former un angle (β) non nul, aigu dans le sens de l'écoulement du flux, par rapport à la direction de l'axe général
15 (X) de la turbomachine, elle-même orientée vers l'aval.

20 Systématiquement, le long de l'axe général X, les dents 30 sont situées en amont par rapport aux bords d'attaque 2 des aubes IGV 24, comme on le constate sur les figures.

Toutefois, pour augmenter la taille des dents, ce qui peut bénéficier à la
20 réduction de bruit, il est proposé que, toujours dans cette direction de l'axe X, les fonds 320 des creux 32 du profil 28 à serrations appartiennent au moins pour certains à une première surface, transversale audit axe X, repérée Y1 figure 10 et Y2 figure 11, positionnée au niveau (figure 10) ou décalée plus en amont (AM) ou en aval (AV ; figure 11) qu'une seconde surface également
25 transversale à l'axe X, repérée Y'1 figure 10 et Y'2 figure 11, à laquelle appartiennent au moins certains des bords d'attaque 25 des aubes IGV 24. Malgré les illustrations, ceci est a priori indépendant de la forme des sommets des dents 30 et des fonds 320 des creux 32. Un positionnement plus en amont serait aussi possible, avec un effet comparable à celui précité.

30 A ce sujet, les dents 30 et creux 32 du profil 28 à serrations présenteront individuellement une forme ondulée, avec des sommets arrondis (figure 10)

ou pointus (figure 11), ceci pour favoriser la réduction du bruit d'impact de l'écoulement d'air généré par les aubes de soufflante, et dans le cas des ondulations, réduire les concentrations de contraintes localement.

- [001]** Quant à la forme des parois latérales, repérée 300 figure 11 de ces dents 30 et creux 32, elles pourront se présenter individuellement et localement comme rectilignes (figure 11), ceci représentant un autre procédé de réalisation potentiellement performant. Ceci peut permettre d'introduire une certaine décorrélation ou un déphasage entre les sources de bruit le long du bord d'attaque.

REVENDECATIONS

1. Turbomachine à soufflante avant (14) et présentant un axe général (X) autour duquel peut tourner la soufflante avant, la turbomachine comportant:

- une paroi (160) annulaire de séparation pourvue d'un bec (16), pour la séparation d'un flux d'air, en aval de la soufflante, entre un flux primaire et un flux secondaire, le bec (16) présentant un bord d'attaque,
 - des premières aubes (24, IGV) fixes de guidage du flux primaire (Fp),
 - des secondes aubes (26, OGV) fixes de guidage du flux secondaire (Fs),
- caractérisé en ce que le bord d'attaque du bec (16) de la paroi (160) annulaire de séparation présente un profil (28) à serrations présentant une succession de dents (30) et de creux (32).

2. Turbomachine selon la revendication 1, dans laquelle le profil (28) à serrations présente des ondulations:

- qui définissent :
 - suivant une direction (L) d'allongement du bord d'attaque, une géométrie élémentaire qui se répète, deux ondulations identiques de deux géométries élémentaires (34,36) successives suivant ladite direction (L) présentant entre elles, suivant cette direction, une distance, λ ,
 - et une amplitude maximale, h, perpendiculairement à ladite direction, et
- qui obéissent à l'un au moins des critères a), b), c) suivants :
 - a) l'amplitude maximale est dimensionnée en respectant la relation :

$$I_{ij}^{(k)}/h < 1$$

à 40% près, dans la formule :

$$I_{ij}^{(k)} = \int_0^{\infty} \frac{\langle u'_i(\mathbf{x} + r\mathbf{e}_k)u'_j(\mathbf{x}) \rangle}{\langle u'_i(\mathbf{x})u'_j(\mathbf{x}) \rangle} dr \quad \text{avec :}$$

- u'_i qui est la vitesse du flux d'air (38) dans la direction i et entre la soufflante et les premières aubes (24, IGV),

-- r qui est la distance entre deux points du sillage de la soufflante dans la direction k ,

-- $l_{11}^{(2)}$ qui est l'échelle intégrale du flux d'air (38) généré par la soufflante dans la direction d'une corde (40) du profil, ou parallèlement à l'axe général (X) de la turbomachine,

b) : la périodicité où l'espacement entre deux dents (30) consécutives respecte la relation suivante :

$$e < \lambda \leq d - e \quad \text{où} \quad d/\lambda \neq 1, 2, 3, \dots, \text{ avec :}$$

-- e qui est la largeur du flux d'air (28) généré par la soufflante en aval d'une aube (140) de cette soufflante, ladite largeur étant calculée au point où l'on retrouve la moitié de l'énergie cinétique turbulente maximale, K_{\max} , dans la partie correspondante du flux d'air généré, au bord d'attaque du bec ; e pouvant être estimé à partir du critère $e = l_{22}^{(2)}/0,21$, à 40% près, et

-- d qui est l'espacement entre deux aubes (140) de soufflante consécutives circonférentiellement, au bord d'attaque (164) du bec,

c) : le nombre de dents (30), de creux (32), ou de périodes de répétition de la géométrie élémentaire sur la longueur du bord d'attaque du profil à serrations est égal, à 40% près, au nombre des premières aubes (24, IGV).

3. Turbomachine selon l'une des revendications précédentes dans laquelle, autour dudit axe général (X), certains au moins desdits creux (32) du profil (28) à serrations sont décalés angulairement par rapport à la position angulaire des premières aubes (24, IGV), de telle sorte que lesdits certains au moins des creux (32) soient angulairement interposés entre deux premières aubes (24, IGV) circonférentiellement successives.

4. Turbomachine selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle les dents (30) du profil à serrations présentent chacune un sommet (31) et sont individuellement non symétriques axialement par rapport à une parallèle (X'1,X'2) audit axe général (X) autour duquel s'étend ladite paroi

(160) annulaire de séparation, ladite parallèle passant par le sommet (31) de la dent (30) considérée.

5. Turbomachine selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle :

- 5 - la soufflante avant (14) est adaptée à tourner dans un sens prédéterminé (Y) autour dudit axe général (X), de sorte que le flux d'air (38) en aval de la soufflante soit globalement orienté obliquement par rapport audit axe général (X), et
- 10 - les dents (30) sont, circonférentiellement autour dudit axe général (X), inclinées vers l'orientation globalement oblique (angle α) du flux d'air en aval de la soufflante, pour lui faire globalement face.

6. Turbomachine selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle :

- 15 - les premières aubes (24, IGV) présentent individuellement une ligne (240) de cambrure moyenne, et
- les dents (30) sont, circonférentiellement autour dudit axe général (X), orientées globalement dans la direction d'une tangente (42) à la ligne de cambrure moyenne desdites premières aubes (24, IGV), au niveau de leurs bords d'attaque (25), ladite tangente formant un angle (β) non nul par rapport
- 20 à la direction de l'axe général (X) de la turbomachine.

7. Turbomachine selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle, dans la direction dudit axe général (X), les fonds des creux (320) du profil (28) à serrations appartiennent au moins pour certains à une première surface (Y1, Y2) transversale audit axe général (X) positionnée plus en aval ou
- 25 plus en amont qu'une seconde surface (Y'1, Y'2) transversale audit axe général (X) à laquelle appartiennent au moins certains des bords d'attaque (25) des premières aubes (24, IGV).

8. Turbomachine selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle les dents (30) et creux (32) du profil à serrations présentent
- 30 individuellement une forme ondulée, avec des sommets (31) arrondis ou pointus.

9. Turbomachine selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans laquelle les dents (30) et creux (32) du profil à serrations présentent individuellement une forme à parois latérales (300) localement rectilignes.

10. Turbomachine selon l'une des revendications précédentes, 5 caractérisée en ce qu'elle est adaptée à propulser un aéronef (100).

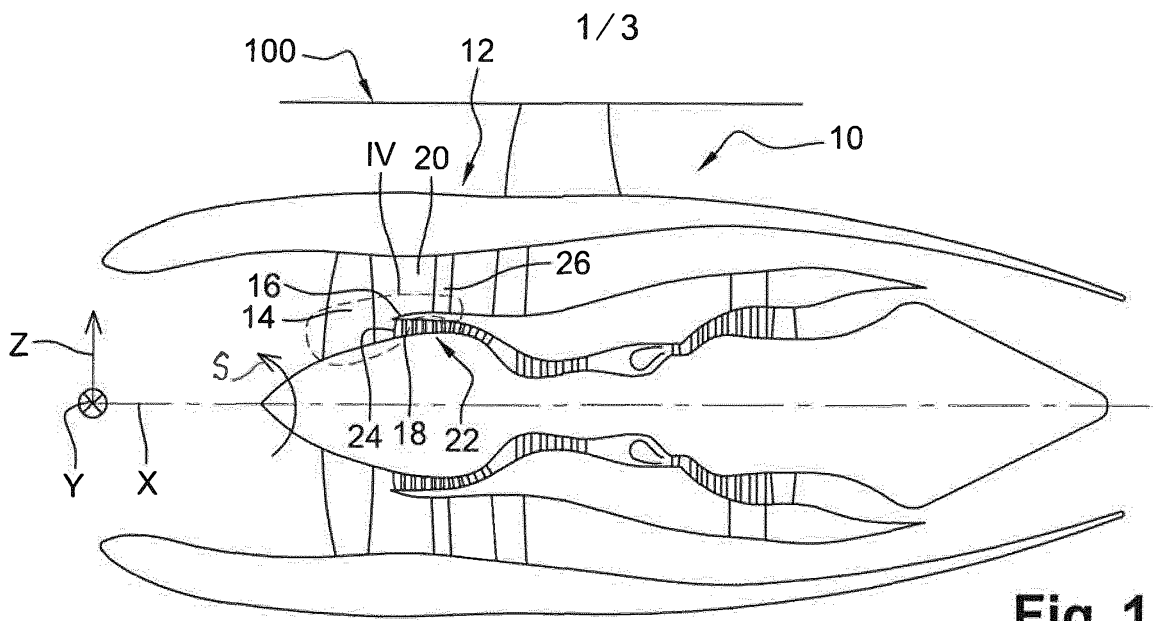


Fig. 1

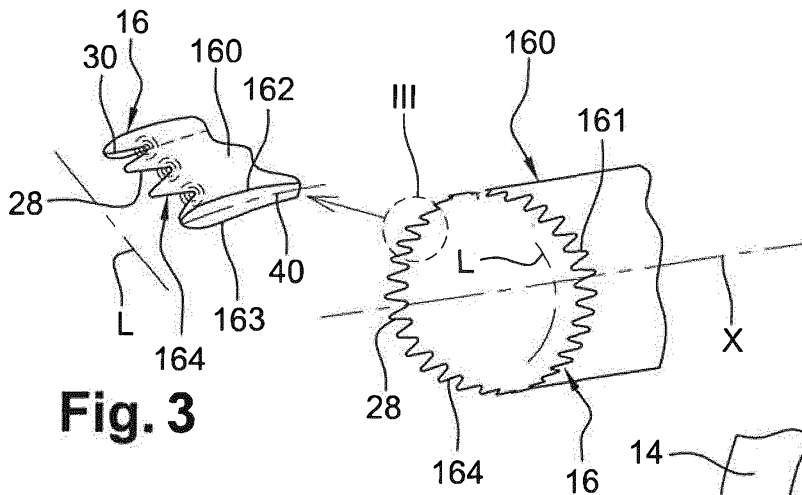


Fig. 3

Fig. 2

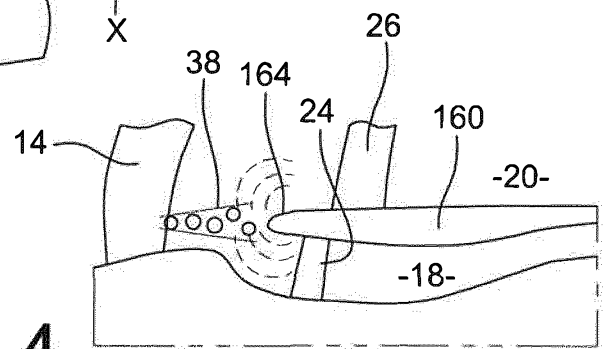


Fig. 4

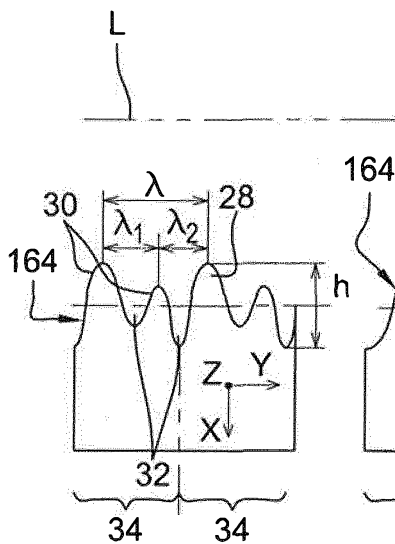


Fig. 5

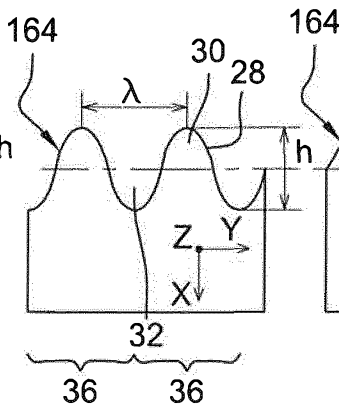


Fig. 6

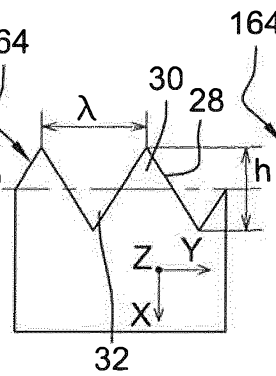


Fig. 7

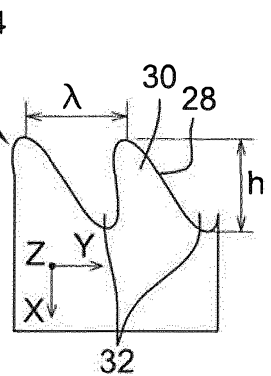
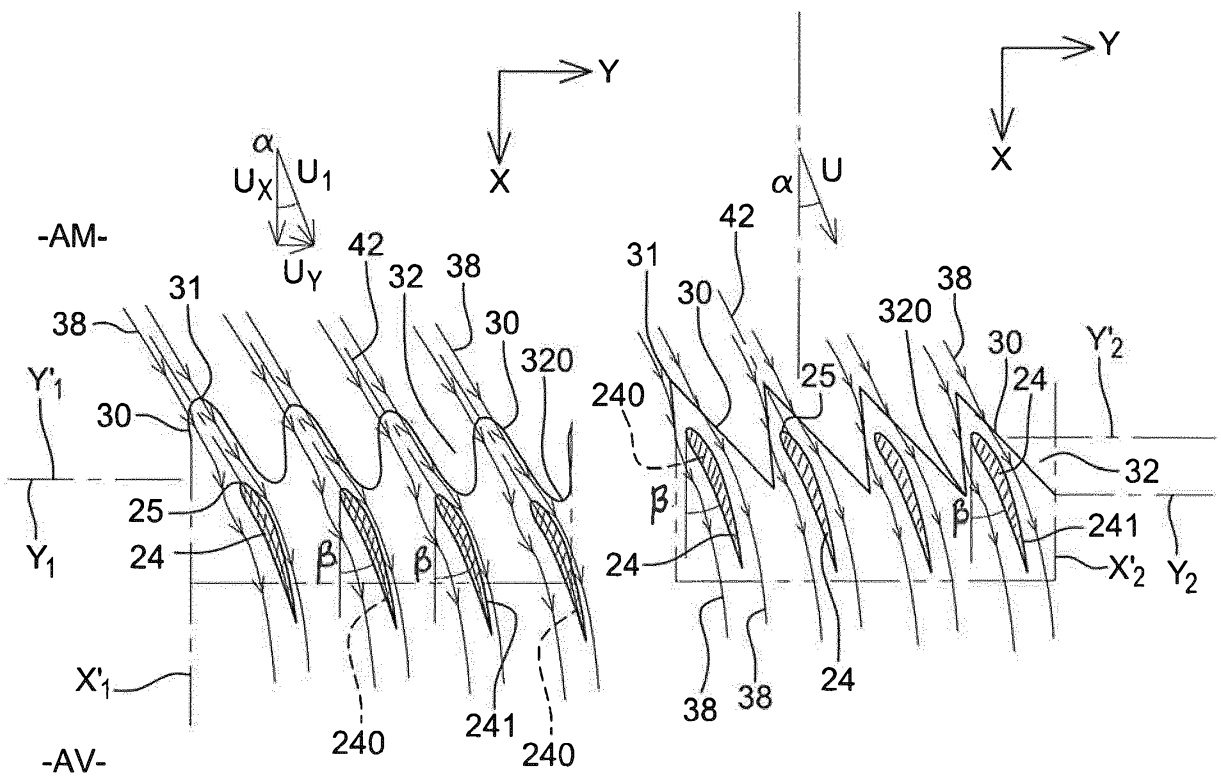
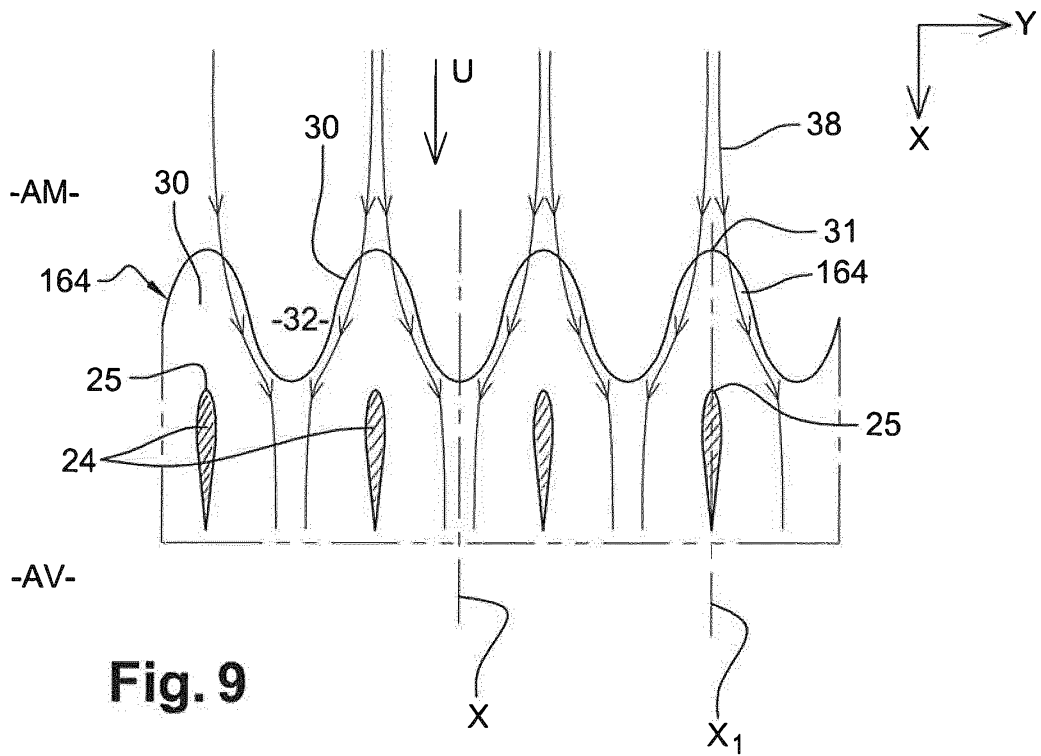


Fig. 8



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement
national

FA 850210
FR 1851361

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		
X	CN 101 716 995 A (CHENGYI ZHANG) 2 juin 2010 (2010-06-02) * figures 1b,5a *	1,8-10	F01D5/14
A	EP 1 277 966 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 22 janvier 2003 (2003-01-22) * figures *	1-10	
A	DE 196 34 296 A1 (UFER ERICH DIPL ING [DE]) 24 avril 1997 (1997-04-24) * figures 1-2 *	1-10	
A	EP 3 002 210 A1 (ROLLS ROYCE CORP [US]; ROLLS ROYCE NAM TECH INC [US]) 6 avril 2016 (2016-04-06) * figures 3-9 *	1-10	
A	US 2016/003095 A1 (ROMANO PASCAL JÉRÔME [FR] ET AL) 7 janvier 2016 (2016-01-07) * figures *	1-10	
A	US 2017/226865 A1 (KRAY NICHOLAS JOSEPH [US] ET AL) 10 août 2017 (2017-08-10) * figures 1,2 *	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	US 2015/017012 A1 (POUZADOUX FREDERIC [FR] ET AL) 15 janvier 2015 (2015-01-15) * figure 1 *	1-10	F01D F02K F02C F15D B64C
A	CH 701 814 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 15 mars 2011 (2011-03-15) * figure 4 *	1-10	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
8 octobre 2018		Raspo, Fabrice	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		
		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1851361 FA 850210**

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 **08-10-2018**

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
CN 101716995	A	02-06-2010	AUCUN	
EP 1277966	A2	22-01-2003	DE 60212007 T2	21-12-2006
			EP 1277966 A2	22-01-2003
			JP 4130337 B2	06-08-2008
			JP 2003090300 A	28-03-2003
			US 2003152459 A1	14-08-2003
DE 19634296	A1	24-04-1997	AUCUN	
EP 3002210	A1	06-04-2016	EP 3002210 A1	06-04-2016
			US 2016097290 A1	07-04-2016
US 2016003095	A1	07-01-2016	FR 3023329 A1	08-01-2016
			GB 2529757 A	02-03-2016
			US 2016003095 A1	07-01-2016
US 2017226865	A1	10-08-2017	CA 2956363 A1	10-08-2017
			CN 107201918 A	26-09-2017
			EP 3205826 A1	16-08-2017
			JP 2017187019 A	12-10-2017
			US 2017226865 A1	10-08-2017
US 2015017012	A1	15-01-2015	CA 2862280 A1	08-08-2013
			CN 104081005 A	01-10-2014
			EP 2809883 A1	10-12-2014
			FR 2986285 A1	02-08-2013
			JP 6038180 B2	07-12-2016
			JP 2015509162 A	26-03-2015
			RU 2014135419 A	27-03-2016
			US 2015017012 A1	15-01-2015
			WO 2013114030 A1	08-08-2013
CH 701814	A2	15-03-2011	CH 701814 A2	15-03-2011
			CN 102003218 A	06-04-2011
			DE 102010037053 A1	03-03-2011
			JP 2011052687 A	17-03-2011
			US 2011052387 A1	03-03-2011