

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

(11) Nº de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

**3 079 552**

(21) Nº d'enregistrement national :

**18 52767**

(51) Int Cl<sup>8</sup> : **F 01 D 5/26** (2018.01), **F 01 D 9/02**, **F 01 D 25/06**,  
**F 04 D 29/66**

(12)

## BREVET D'INVENTION

**B1**

(54) TURBOMACHINE COMPORTANT AU MOINS UNE AUBE AMONT COMPORTANT UNE POR-  
TION DE SOUFFLAGE POUR LIMITER LA RESONANCE D'UNE AUBE AVAL.

(22) Date de dépôt : 29.03.18.

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

(30) Priorité :

Demande(s) d'extension :

(43) Date de mise à la disposition du public  
de la demande : 04.10.19 Bulletin 19/40.

(71) Demandeur(s) : SAFRAN AIRCRAFT ENGINES —  
FR.

(45) Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention : 04.06.21 Bulletin 21/22.

(72) Inventeur(s) : MAZEAU ANTOINE BERTRAND  
FRANCOIS.

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

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

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

(74) Mandataire(s) : ARGYMA.

FR 3 079 552 - B1



**TURBOMACHINE COMPORTANT AU MOINS UNE AUBE AMONT COMPORTANT UNE  
PORTION DE SOUFFLAGE POUR LIMITER LA RESONANCE D'UNE AUBE AVAL**

**DOMAINE TECHNIQUE GENERAL ET ART ANTERIEUR**

5

La présente invention concerne une turbomachine et, plus particulièrement, des aubes amont de turbomachine dont la structure est améliorée pour éviter la résonance vibratoire des aubes aval.

De manière connue, une turbomachine s'étend longitudinalement et permet de déplacer un aéronef à partir d'un flux d'air entrant dans la turbomachine et circulant d'amont en aval. Par la suite, les termes « amont » et « aval » sont définis par rapport à l'axe de la turbomachine orienté d'amont en aval. Une turbomachine comporte une pluralité de rangées d'aubes qui sont espacées axialement, en particulier, une alternance de rangées d'aubes mobiles et de rangées d'aubes fixes.

15

Au cours du fonctionnement de la turbomachine, chaque rangée d'aubes perçoit des fluctuations du champ aérodynamique provoquées par la rangée d'aubes située directement en amont. Ces fluctuations aérodynamiques peuvent en particulier provenir des sillages issus de la rangée d'aubes amont. Ces fluctuations du champ aérodynamique induisent une force d'oscillation vibratoire sur la rangée d'aubes aval. Cette force d'oscillation est corrélée à la vitesse de rotation de la turbomachine. Lorsque la vitesse de rotation est nulle, il n'existe pas de force d'oscillation vibratoire.

La force d'oscillation vibratoire possède une fréquence d'excitation qui dépend de la vitesse de rotation de la turbomachine. Lorsque la fréquence d'excitation est proche d'une fréquence propre d'un des modes de la structure de la rangée d'aubes aval, un phénomène de résonance apparaît et les amplitudes de la force d'oscillation vibratoire augmentent fortement pouvant amener à une usure prématuée ou une rupture des aubes aval, ce qui présente un inconvénient sur le plan des performances de la turbomachine.

30

Un objectif est de réduire les phénomènes de résonance sur la plage de vitesse de rotation de la turbomachine afin de garantir une durée de vie élevée des aubes de la turbomachine.

De manière incidente, on connaît dans l'art antérieur par les demandes de brevet EP2806156B1, US5791601, US5480284, US6004095 FR2927674, plusieurs solutions techniques permettant d'améliorer le comportement aérodynamique d'une aube pré-déterminée, notamment, afin de

réduire le bruit engendré par une rangée d'aubes mobiles. Néanmoins, ces solutions techniques ne permettent pas de tenir compte des aubes situées en amont et/ou en aval et ne peuvent pas garantir un écoulement aérodynamique dépourvu de résonances sur la plage de vitesse de rotation de la turbomachine.

5

### PRESENTATION GENERALE DE L'INVENTION

10 A cet effet, l'invention concerne une turbomachine d'aéronef s'étendant longitudinalement selon un axe X et configurée pour permettre la circulation d'un flux d'air dans la turbomachine d'amont en aval, la turbomachine comportant au moins une rangée d'aubes amont et au moins une rangée d'aubes aval disposée directement en aval de la rangée d'aubes amont.

15 L'invention est remarquable en ce que, chaque aube aval comportant au moins une portion de résonance, chaque portion de résonance ayant des modes de structure définissant une pluralité de fréquences propres, la turbomachine induisant une fréquence d'excitation vibratoire sur la portion de résonance, la fréquence d'excitation vibratoire étant fonction du régime de la turbomachine, au moins une aube amont comporte au moins une portion de soufflage, située sensiblement à une même distance radiale de l'axe X de la turbomachine de la portion de résonance. La portion de soufflage est avantageusement configurée pour modifier le sillage de 20 l'aube amont afin d'éloigner la fréquence d'excitation vibratoire des fréquences propres de la portion de résonance de l'aube aval et/ou diminuer l'amplitude de la fréquence d'excitation vibratoire.

25 Etant donné que la portion de soufflage est située sensiblement à une même distance radiale de la portion de résonance, la portion de soufflage et la portion de résonance sont situées dans une même portion de ligne de courant dans le flux d'air dans la rangée d'aube amont et la rangée d'aube aval considérées.

30 Il est à remarquer que les fréquences d'excitation vibratoire résultent des forces d'excitation vibratoire produites par le sillage de l'aube amont.

Grâce à la portion de soufflage, les pertes de pression associées au sillage de l'aube amont sont limitées, ce qui réduit les fluctuations de pression en aval de l'aube aval. Grâce à l'invention, le phénomène de résonance est traité de manière indirecte en agissant sur la source d'excitation. 35 En outre, la portion de soufflage permet de modifier la pression autour de l'aube amont, ce qui permet de la stabiliser et de réduire le phénomène de flottement.

De préférence, l'aube amont comportant un bord d'attaque et un bord de fuite, la portion de soufflage est formée sur le bord de fuite. Ainsi, le sillage de l'aube amont est modifié, ce qui impacte uniquement l'écoulement aérodynamique pour l'aube aval.

5 De préférence encore, le bord de fuite comportant un intrados et un extrados, la portion de soufflage comporte une pluralité d'orifices reliant l'intrados à l'extrados de manière à permettre un soufflage d'air de l'extrados vers l'intrados. Une telle solution permet de ne pas nécessiter de prélèvement additionnel d'air dans la turbomachine, ce qui améliore les performances. Ainsi, le 10 bord de fuite considéré est sur un tronçon d'extrémité d'aube, sur une certaine longueur de corde d'aube, sans considérer uniquement une simple arête de bord de fuite de l'aube.

15 De préférence toujours, l'aube amont comporte un corps principal et un bord de fuite qui est rapporté sur ledit corps principal. Un bord de fuite rapporté permet de former des orifices traversants sans contrainte, en particulier, lorsque le corps principal est en matériau composite. Il suffit de choisir le bord de fuite adapté pour limiter les résonances.

20 De manière avantageuse, chaque aube aval comportant un bord d'attaque et un bord de fuite, la portion de résonance est formée sur le bord d'attaque.

25 Selon un aspect, les aubes amont sont des aubes de stator tandis que les aubes aval sont des aubes de rotor. De manière préférée, chaque aube amont de stator comportant un pied monté dans un carter intérieur et une tête montée dans un carter extérieur, la portion de soufflage comporte une pluralité de tubulures élémentaires qui sont alimentées en air par une enceinte d'air pressurisé du carter extérieur.

30 Selon un autre aspect, les aubes amont sont des aubes de rotor tandis que les aubes aval sont des aubes de stator. De préférence, chaque aube amont de rotor comportant un pied monté dans un disque rotatif de la turbomachine, la portion de soufflage comporte une pluralité de canaux élémentaires qui sont alimentés en air par des canaux d'alimentation du disque rotatif.

35 De manière générale, il a été indiqué qu'au moins une aube amont comporte au moins une portion de soufflage, située sensiblement à une même distance radiale de l'axe de la turbomachine de la portion de résonance, la portion de soufflage étant configurée pour modifier le sillage de l'aube amont concernant le nombre d'aubes impactées par le changement. De manière particulière, ce

traitement de sillage par portion de soufflage peut concerner une aube amont, une pluralité d'aube amont ou l'ensemble des aubes amont dans une rangée considérée.

Ainsi, selon un aspect de l'invention, une pluralité d'aubes amont comporte au moins une portion de soufflage, de préférence, chaque aube amont comporte au moins une portion de soufflage.

5 De manière avantageuse, le nombre d'aubes comportant une portion de soufflage ainsi que la disposition des aubes comportant une portion de soufflage peuvent être avantageusement paramétrés. Par exemple il est possible de considérer un motif sur 360 degrés : par exemple 1 aube sur 2 ou 1 aube sur 3. Le motif peut être périodique ou non périodique. Il est ainsi possible 10 de modifier le spectre d'excitation et donc d'atténuer la réponse vibratoire pour la rangée d'aubes aval.

15 De manière préférée, chaque aube aval comporte une portion de soufflage. Ainsi, une aube aval peut, d'une part, être protégée contre le phénomène de résonance par une aube amont et, d'autre part, protéger une autre aube située en aval contre le phénomène de résonance. La protection contre les résonances est applicable à plusieurs étages de la turbomachine.

### **PRESENTATION DES FIGURES**

20 L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple, et se référant aux dessins annexés sur lesquels :

- La figure 1 est une représentation en coupe d'une turbomachine avec une aube de rotor amont et une aube de stator aval selon l'invention,
- La figure 2 est une représentation en coupe d'une turbomachine avec une aube de stator amont et une aube de rotor aval selon l'invention,
- La figure 3 est une représentation en coupe d'une turbomachine avec une aube de stator amont, une aube de rotor intermédiaire et une aube de stator aval selon l'invention,
- La figure 4 est représentation schématique d'un bord de fuite avec un orifice traversant pour réaliser le soufflage,
- La figure 5 est représentation schématique d'un bord de fuite avec une tubulure interne débouchant dans le bord de fuite,
- La figure 6 est représentation schématique d'une portion de soufflage pour une aube de stator et
- La figure 7 est représentation schématique d'une portion de soufflage pour une aube de rotor.

Il faut noter que les figures exposent l'invention de manière détaillée pour mettre en œuvre l'invention, lesdites figures pouvant bien entendu servir à mieux définir l'invention le cas échéant.

### **DESCRIPTION D'UN OU PLUSIEURS MODES DE REALISATION ET DE MISE EN OEUVRE**

5 En référence à la figure 1, il est représenté une turbomachine 1 d'aéronef s'étendant longitudinalement selon un axe X et configurée pour permettre la circulation, d'amont en aval, d'un flux d'air F entrant dans la turbomachine selon l'axe X. De manière connue, une turbomachine 1 comporte une alternance d'aubes de rotor et d'aubes de stator pour accélérer un  
10 flux d'air (compresseur) ou capter son énergie (turbine). Chaque aube comporte un bord d'attaque et un bord de fuite.

15 Selon une première forme de réalisation de l'invention, la turbomachine 1 comporte une rangée d'aubes amont de rotor 2B et une rangée d'aubes aval de stator 3A disposée directement en aval de la rangée d'aubes amont de rotor 2B.

Dans cet exemple, toujours en référence à la figure 1, chaque aube aval de stator 3A comporte une portion de résonance 4.

20 Par portion de résonance 4, on entend une portion sensible à une force d'oscillation vibratoire induite par le sillage d'une aube située directement en amont. La portion de résonance 4 possède plusieurs modes de structure ayant au moins une fréquence propre qui est proche d'une fréquence d'excitation de la force d'oscillation vibratoire sur la plage de fonctionnement de la turbomachine. Par proche, on entend un écart inférieur à 10% entre ladite fréquence propre et la  
25 fréquence d'excitation. Comme indiqué précédemment, lorsque la fréquence d'excitation est proche d'une fréquence propre d'un des modes de la structure de la rangée d'aubes aval, un phénomène de résonance apparaît et les amplitudes de la force d'oscillation vibratoire augmentent fortement pouvant amener à une usure prématuée ou une rupture des aubes aval 3A, ce qui présente un inconvénient sur le plan des performances de la turbomachine via par  
30 exemple les problématiques de dimensionnement et/ou de prévision de durée de vie en service des aubes.

35 De manière préférée, pour chaque aube aval 3A, on détermine la ou les portions de résonance 4 en comparant la fréquence d'excitation sur la plage de fonctionnement de la turbomachine 1 aux fréquences propres des portions de résonance 4 de l'aube aval 3A.

Une portion de résonance 4 forme potentiellement une faiblesse pour l'aube aval 3A. Une solution immédiate serait de modifier la structure de chaque portion de résonance 4 afin que les fréquences propres de ses modes de structure soient éloignées de la plage de résonance. Néanmoins, une telle modification n'est généralement pas possible d'un point de vue 5 aérodynamique ou structurel. Selon l'invention, le phénomène de résonance est traité de manière indirecte en agissant sur la source d'excitation.

Par la suite, chaque portion de résonance 4 est située à une distance radiale  $R_4$  déterminée de l'axe X de la turbomachine 1 et reçoit un flux d'air incident  $F_4$  de l'aube située directement en 10 amont comme illustré à la figure 4. Dans le flux d'air de la portion de soufflage et de la portion de résonance, la distance radiale correspond en particulier à une même portion de ligne de courant de flux d'air dans la rangée d'aube amont et la rangée d'aube aval considérées.

Selon l'invention, en référence à la figure 1, chaque aube amont 2B comporte une portion de 15 soufflage 5 configurée pour émettre une pluralité de flux d'air élémentaires  $F_e$  et ainsi modifier le sillage de chaque aube amont 2B. La portion de soufflage 5 et la portion de résonance 4 sont situées sensiblement à une même distance radiale  $R_4$  de l'axe X de la turbomachine 1, c'est-à- 20 dire dans une même portion de ligne de courant, de manière à ce que les flux élémentaires  $F_e$  forment une force d'oscillation vibratoire dont la fréquence d'excitation est éloignée de la ou des fréquences propres de structure de la portion de résonance 4 sur la plage de fonctionnement de la turbomachine 1. De plus, l'amplitude de la fréquence d'excitation est diminuée.

Dans cet exemple, en référence à la figure 1, l'aube aval de stator 3A comporte une portion de résonance 4 située à mi-hauteur de l'aube aval de stator 3A, en particulier, à une distance radiale 25  $R_4$ . L'aube amont de rotor 2B comporte une portion de soufflage 5 qui est située à la même distance radiale  $R_4$ , c'est-à-dire, dans une même portion de ligne de courant. Lors de la rotation de l'aube amont de rotor 2B, le flux d'air amont  $F$  est accéléré, ce qui induit un sillage impactant l'aube aval de stator 3A et, plus particulièrement, sa portion de résonance 4. De manière avantageuse, la portion de soufflage 5 génère une pluralité de flux élémentaires  $F_e$  à la distance 30 radiale  $R_4$  de la portion de résonance 4 afin de modifier le sillage de l'aube amont de rotor 2B, ce qui évite avantageusement tout phénomène de résonance vibratoire sur la portion de résonance 4 qui est ainsi protégée. La fréquence d'excitation vibratoire est éloignée des fréquences propres de la portion de résonance 4 des aubes aval 3A tout en diminuant l'amplitude de la fréquence d'excitation vibratoire.

Dans cet exemple, la portion de soufflage 5 est formée sur le bord de fuite de l'aube amont de rotor 2B de manière à modifier directement le sillage de l'aube amont de rotor 2B, ce qui limite de manière efficace tout phénomène de résonance. De manière générale, le bord de fuite considéré peut être sur un tronçon d'extrémité d'aube, sur une certaine longueur de corde d'aube,

5 sans considérer uniquement une arête de bord de fuite de l'aube.

Selon une deuxième forme de réalisation de l'invention, en référence à la figure 2, la turbomachine 1 comporte une rangée d'aubes amont de stator 3B et une rangée d'aubes aval de rotor 2A disposée directement en aval de la rangée d'aubes amont de stator 3B.

10 Par souci de clarté et de concision, la turbomachine 1 selon la deuxième forme de réalisation n'est pas de nouveau décrite en détails. Les éléments de la deuxième forme de réalisation, de fonctions identiques ou analogues à la première forme de réalisation, ne sont pas décrits de nouveau. Seules les différences structurelles et fonctionnelles entre les formes de réalisation sont 15 présentées par la suite.

Dans cet exemple, de manière analogue à la première forme de réalisation, chaque aube aval de rotor 2A comporte une portion de résonance 4 à une distance radiale  $R_4$  de l'axe X de la turbomachine 1. De même, chaque aube amont de stator 3B comporte une portion de soufflage 20 5 configurée pour émettre une pluralité de flux d'air élémentaires  $F_e$ . La portion de soufflage 5 et la portion de résonance 4 sont situées à une même distance radiale  $R_4$  de l'axe X de la turbomachine 1, dans une même portion de ligne de courant, de manière à ce que les flux élémentaires  $F_e$  forment une force d'oscillation vibratoire dont la fréquence d'excitation est éloignée de la ou les fréquences propres de structure de la portion de résonance 4 de l'aube aval 25 de rotor 2A sur la plage de fonctionnement de la turbomachine 1.

Lors de la déviation du flux d'air amont F par l'aube amont de stator 3B, celle-ci induit un sillage impactant l'aube aval de rotor 2A lors de sa rotation et, plus particulièrement, sa portion de résonance 4. De manière avantageuse, la portion de soufflage 5 génère une pluralité de flux élémentaires  $F_e$  à la même distance radiale  $R_4$  que la portion de résonance 4 afin de modifier le sillage de l'aube amont de stator 3B, ce qui évite avantageusement tout phénomène de résonance vibratoire sur la portion de résonance 4 qui est ainsi protégée.

30 Autrement dit, l'invention permet aussi bien de protéger une aube aval de stator 3A (Figure 1) 35 qu'une aube aval de rotor 2A (Figure 2).

Selon une troisième forme de réalisation de l'invention, en référence à la figure 3, la turbomachine 1 comporte une rangée d'aubes amont de stator 3B et une rangée d'aubes intermédiaires de rotor 2C disposée directement en aval de la rangée d'aubes amont de stator 3B. La turbomachine 1 comporte en outre une rangée d'aubes aval de stator 3A disposée directement en aval de la 5 rangée d'aubes intermédiaires de rotor 2C.

Par souci de clarté et de concision, la turbomachine selon la troisième forme de réalisation n'est pas de nouveau décrite en détails. Les éléments de la troisième forme de réalisation, de fonctions identiques ou analogues à la première forme de réalisation, ne sont pas décrits de nouveau. 10 Seules les différences structurelles et fonctionnelles entre les formes de réalisation sont présentées par la suite.

Cette troisième forme de réalisation est présentée afin de mettre en avant le fait qu'une aube intermédiaire peut comprendre à la fois une portion de résonance et une portion de soufflage. 15 Dans cet exemple, l'aube intermédiaire est une aube de rotor mais il va de soi que l'invention s'applique également à une aube de stator.

Toujours en référence à la figure 3, l'aube intermédiaire de rotor 2C comporte, au niveau de son bord d'attaque, une portion de résonance 4 à une distance radiale  $R_4$  et, au niveau de son bord 20 de fuite, une portion de soufflage 5' à une distance radiale  $R_4'$ .

Dans cet exemple, de manière analogue à la deuxième forme de réalisation, chaque aube amont de stator 3B comporte une portion de soufflage 5 configurée pour émettre une pluralité de flux d'air élémentaires  $F_e$ , la portion de soufflage 5 et la portion de résonance 4 de l'aube intermédiaire 25 de rotor 2C sont situées à une même distance radiale  $R_4$  de l'axe X de la turbomachine 1, dans une même portion de ligne de courant, de manière à ce que les flux élémentaires  $F_e$  forment une force d'oscillation vibratoire dont la fréquence d'excitation est éloignée de la ou les fréquences propres de structure de la portion de résonance 4 de l'aube intermédiaire de rotor 2C sur la plage de fonctionnement de la turbomachine 1.

30 De manière analogue à la première forme de réalisation, l'aube aval de stator 3A comporte une portion de résonance 4' située à mi-hauteur de l'aube aval de stator 3A, en particulier, à une distance radiale  $R_4'$ . L'aube intermédiaire de rotor 2C comporte une portion de soufflage 5' située 35 à une distance radiale  $R_4'$ . Lors de la rotation de l'aube intermédiaire de rotor 2B, le flux d'air amont est accéléré, ce qui induit un sillage impactant l'aube aval de stator 3A et, plus particulièrement, sa portion de résonance 4'. De manière avantageuse, la portion de soufflage 5'

génère une pluralité de flux élémentaires  $F_e'$  à la distance radiale  $R_4'$  afin de modifier le sillage de l'aube intermédiaire de rotor 2C, ce qui évite avantageusement tout phénomène de résonance vibratoire sur la portion de résonance 4' qui est ainsi protégée.

5 De manière avantageuse, l'invention est appliquée sur plusieurs aubes successives espacées selon l'axe X de manière à limiter tout phénomène de résistance lors de la circulation d'un flux d'air  $F$  d'amont en aval dans la turbomachine 1.

10 Chaque portion de soufflage 5 est configurée pour émettre une pluralité de flux élémentaires  $F_e$  afin de former un flux d'air incident  $F_4$  pour la portion de résonance 4 qui n'est pas susceptible de la faire vibrer.

15 Chaque portion de soufflage 5 peut posséder une structure diverse pour accomplir sa fonction. A titre d'exemple, il est représenté à la figure 4 une portion de soufflage 5 pour une aube amont de stator 3B. Le bord de fuite 33B de l'aube amont de stator 3B comporte un intrados INT et un extrados EXT. Le bord de fuite considéré est sur un tronçon d'extrémité d'aube, sur une certaine longueur de corde d'aube, sans considérer uniquement une arête de bord de fuite de l'aube. La portion de soufflage 5 comporte une pluralité d'orifices 34 reliant l'intrados INT à l'extrados EXT de manière à permettre la circulation d'un flux d'air élémentaire  $F_e$  de l'extrados EXT vers 20 l'intrados INT. Une telle modification du bord de fuite 33B permet de modifier localement le sillage de l'aube amont de stator 3B. De manière préférée, l'aube amont de stator 3B comporte un bord de fuite 33B qui est monté de manière rapportée sur un corps principal formant l'aube amont de stator 3B. Cela permet avantageusement de former le corps principal de l'aube de stator 3B sans 25 contrainte liée au soufflage (corps principal en matériau composite notamment) et de pouvoir adapter un bord de fuite 33D comportant des orifices 34 placés judicieusement pour diminuer l'impact aérodynamique sur les aubes situées en aval. Autrement dit, cette mise en œuvre offre une flexibilité accrue pour limiter l'excitation vibratoire des aubes aval.

30 Les orifices traversants 34 ont été présentés pour une aube aval de stator 3B mais cette forme de réalisation s'applique également à une aube aval de rotor 2B. L'avantage d'une telle forme de réalisation est de ne pas nécessiter de prélèvement d'air de la turbomachine 1, ce qui diminuerait les performances.

35 De manière alternative, en référence à la figure 5, il est représenté une aube aval de stator 3B comportant une tubulure interne 51 débouchant sur le bord de fuite 33B au niveau d'un orifice de

sortie 510. Contrairement à la forme de réalisation de la figure 4, chaque tubulure interne 51 prélève de l'air en dehors du flux d'air amont incident afin de modifier son sillage.

Il est représenté à la figure 6 une portion de soufflage 5 comportant une pluralité de tubulures 5 élémentaires 51 pour une aube amont de stator 3B. A la figure 7, il est représenté une portion de soufflage 5 comportant une pluralité de canaux élémentaires 52 pour une aube amont de rotor 2B.

En référence à la figure 6, l'aube de stator 3B comporte un pied 30B monté dans un carter 10 intérieur 6 et une tête 31B montée dans un carter extérieur 7. L'aube de stator 3B comporte un bord d'attaque 32B et un bord de fuite 33B. L'aube de stator 3B comporte une portion de soufflage 5 qui comporte une pluralité de tubulures élémentaires 51 qui débouchent, d'une part, dans le bord de fuite 33B via une pluralité d'orifices 510 et, d'autre part, dans le carter extérieur 7, en particulier dans une enceinte d'air pressurisé 70, de manière à alimenter les tubulures 15 élémentaires 51 avec un flux d'air sous pression venant modifier le sillage de l'aube de stator 3B.

De manière avantageuse, la pluralité de tubulures élémentaires d'alimentation 51 de la portion de soufflage 5 permet avantageusement de fournir de la flexibilité pour dimensionner la longueur radiale  $\Delta R$  de la portion de soufflage 5. Autrement dit, il suffit d'adapter le positionnement des 20 orifices de sortie 510 des tubulures élémentaires 51 afin de corriger l'influence du sillage sur la portion de résonance 4 de l'aube de rotor aval 2A située directement en aval comme illustré à la figure 2. Selon un aspect préféré, la turbomachine comprend un système d'activation, 25 électrique ou mécanique, du prélèvement d'air par les tubulures élémentaires d'alimentation 51. De préférence, le système d'activation est sélectif et permet de réaliser un prélèvement d'air par une sélection de tubulures élémentaires afin de réaliser un soufflage optimal en fonction des conditions d'utilisation de la turbomachine.

En référence à la figure 7, l'aube de rotor 2B comporte un pied 20B monté dans un logement 80 d'un disque rotatif 8 et une tête libre 21B en regard du carter extérieur 7. L'aube de rotor 2B 30 comporte un bord d'attaque 22B et un bord de fuite 23B. L'aube de rotor 2B comporte une portion de soufflage 5 qui comporte une pluralité de canaux élémentaires 52 qui débouchent, d'une part, dans le bord de fuite 23B via une pluralité d'orifices 520 et, d'autre part, à l'intérieur du disque 8 pour se connecter à des canaux d'alimentation 81 formés dans le disque 8 de manière à alimenter 35 les canaux élémentaires 52 avec un flux d'air sous pression venant modifier le sillage de l'aube de rotor 2B.

De manière analogue à la figure 6, la pluralité de canaux élémentaires 52 de la portion de soufflage 5 permet avantageusement de fournir de la flexibilité pour dimensionner la longueur radiale  $\Delta R$  de la portion de soufflage 5. Autrement dit, il suffit d'adapter le positionnement des orifices de sortie 520 des canaux élémentaires 52 afin de corriger l'influence du sillage sur la portion de résonance 4 de l'aube aval 2A en aval comme illustré à la figure 2.

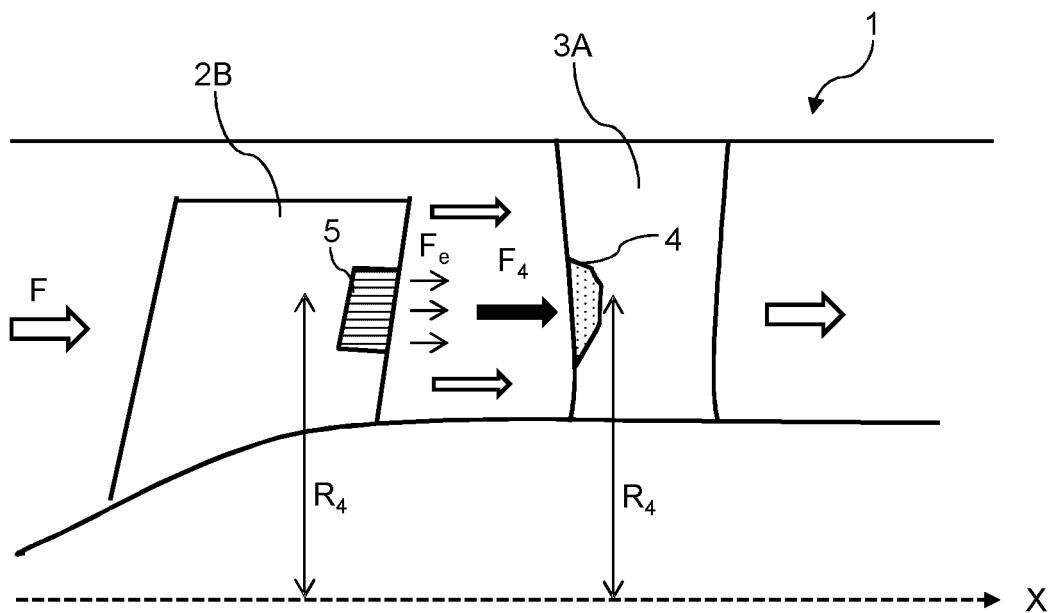
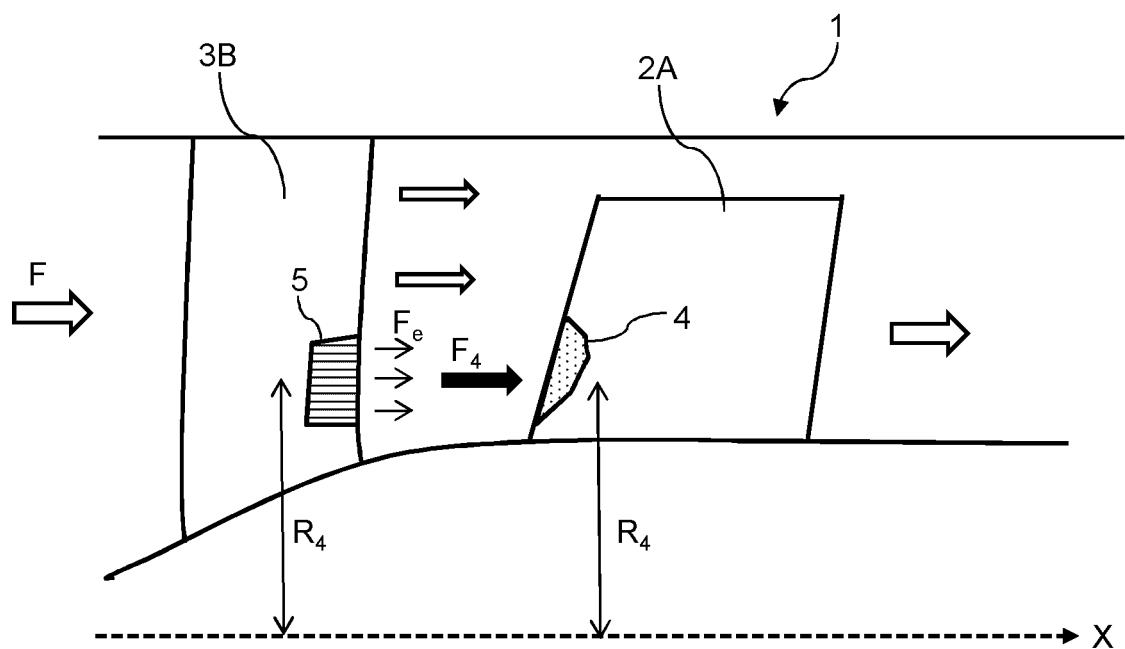
L'inconvénient des formes de réalisation des figures 5 à 7 est de nécessiter un prélèvement d'air de la turbomachine 1, ce qui diminue les performances. Il a été présenté des orifices de sortie 510/520 qui sont circulaires mais il va de soi que des orifices de sortie 510/520 en forme de fente pourraient convenir.

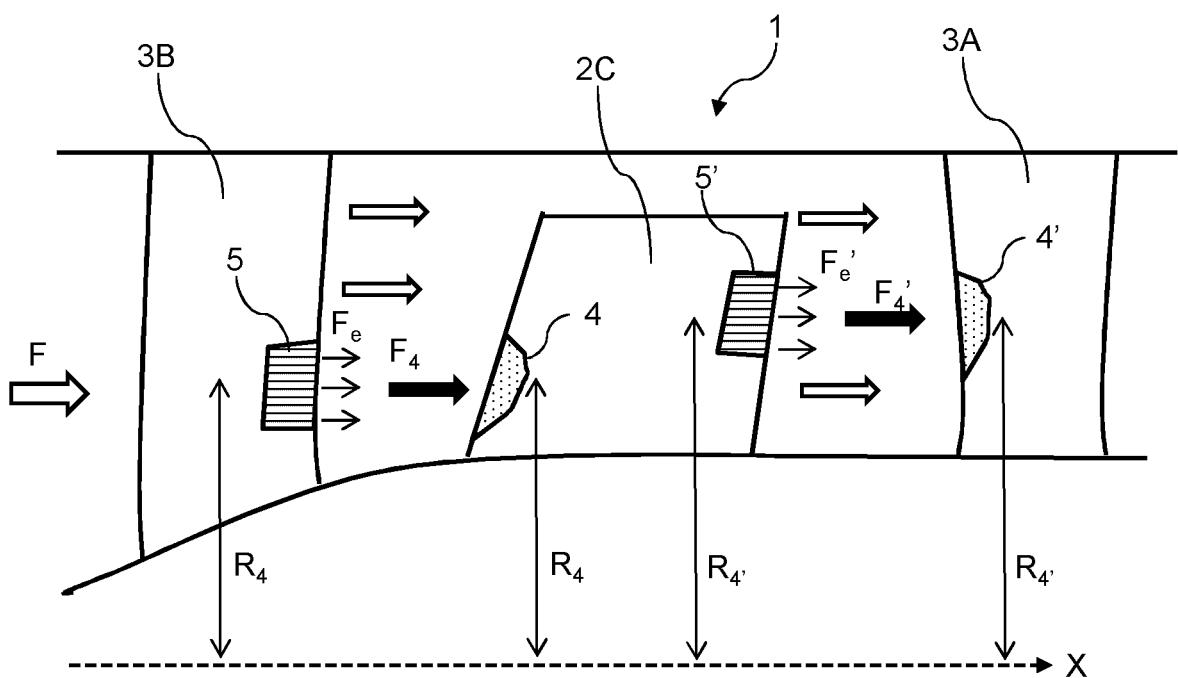
Grâce à l'invention, le phénomène de résonance impactant des parties de résonance 4 d'une aube aval de turbomachine 1 est corrigé en modifiant la force d'oscillation vibratoire de manière localisée. De plus, la portion de soufflage 5 permet de modifier la pression autour de l'aube amont, ce qui permet de la stabiliser et de réduire tout phénomène de flottement.

## REVENDICATIONS

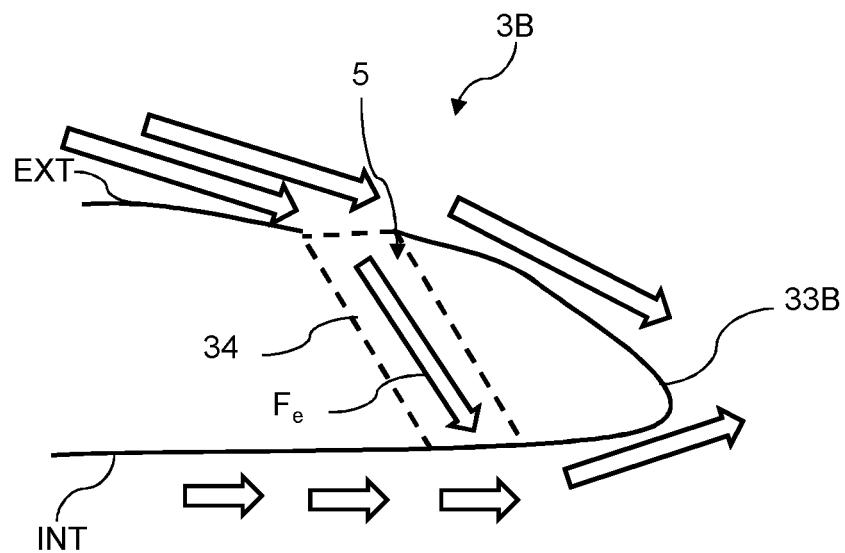
1. Turbomachine (1) d'aéronef s'étendant longitudinalement selon un axe (X) et configurée pour permettre la circulation d'un flux d'air (F) dans la turbomachine (1) d'amont en aval, la turbomachine (1) comportant au moins une rangée d'aubes amont (2B, 3B) et au moins une rangée d'aubes aval (2A, 3A) disposée directement en aval de la rangée d'aubes amont (2B, 3B), turbomachine (1) chaque aube aval (2A, 3A) comportant au moins une portion de résonance (4), chaque portion de résonance (4) ayant des modes de structure définissant une pluralité de fréquences propres, la turbomachine (1) induisant une fréquence d'excitation vibratoire sur la portion de résonance (4), la fréquence d'excitation vibratoire étant fonction du régime de la turbomachine (1), au moins une aube amont (2B, 3B) comportant au moins une portion de soufflage (5), située sensiblement à une même distance radiale de l'axe (X) de la turbomachine (1) de la portion de résonance (4), la portion de soufflage (5) étant configurée pour modifier le sillage de l'aube amont (2B, 3B) l'aube amont (2B, 2C, 3B) comportant un bord d'attaque (22B, 32B) et un bord de fuite (23B, 33B), caractérisée par le fait que l'aube amont (2B, 3B) comporte un corps principal et un bord de fuite (23B, 33B) qui est rapporté sur ledit corps principal, le bord de fuite (23B, 33B) comportant un intrados (INT) et un extrados (EXT), la portion de soufflage (5) étant formée sur le bord de fuite (23B, 33B) et comporte une pluralité d'orifices (34) reliant l'intrados (INT) à l'extrados (EXT) de manière à permettre un soufflage d'air de l'extrados (EXT) vers l'intrados (INT).
2. Turbomachine selon la revendication 1, dans lequel chaque aube aval (2A, 3A) comportant un bord d'attaque et un bord de fuite, la portion de résonance (4) est formée sur le bord d'attaque.
3. Turbomachine selon l'une des revendications 1 à 2, dans laquelle les aubes amont (3B) sont des aubes de stator tandis que les aubes aval (2A) sont des aubes de rotor.
4. Turbomachine selon l'une des revendications 1 à 2, dans laquelle les aubes amont (2B) sont des aubes de rotor tandis que les aubes aval (3A) sont des aubes de stator.
5. Turbomachine selon l'une des revendications 1 à 4, dans laquelle, une pluralité d'aubes amont (2B, 3B) comporte au moins une portion de soufflage (5), de préférence, chaque aube amont (2B, 3B) comporte au moins une portion de soufflage (5).

6. Turbomachine selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel au moins une aube aval (2C) comporte une portion de soufflage (5').

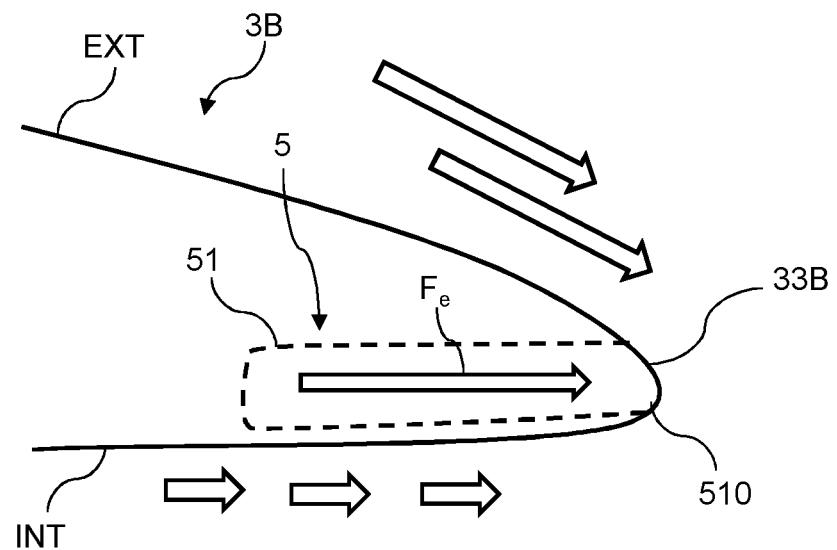
**FIGURE 1****FIGURE 2**



### **FIGURE 3**

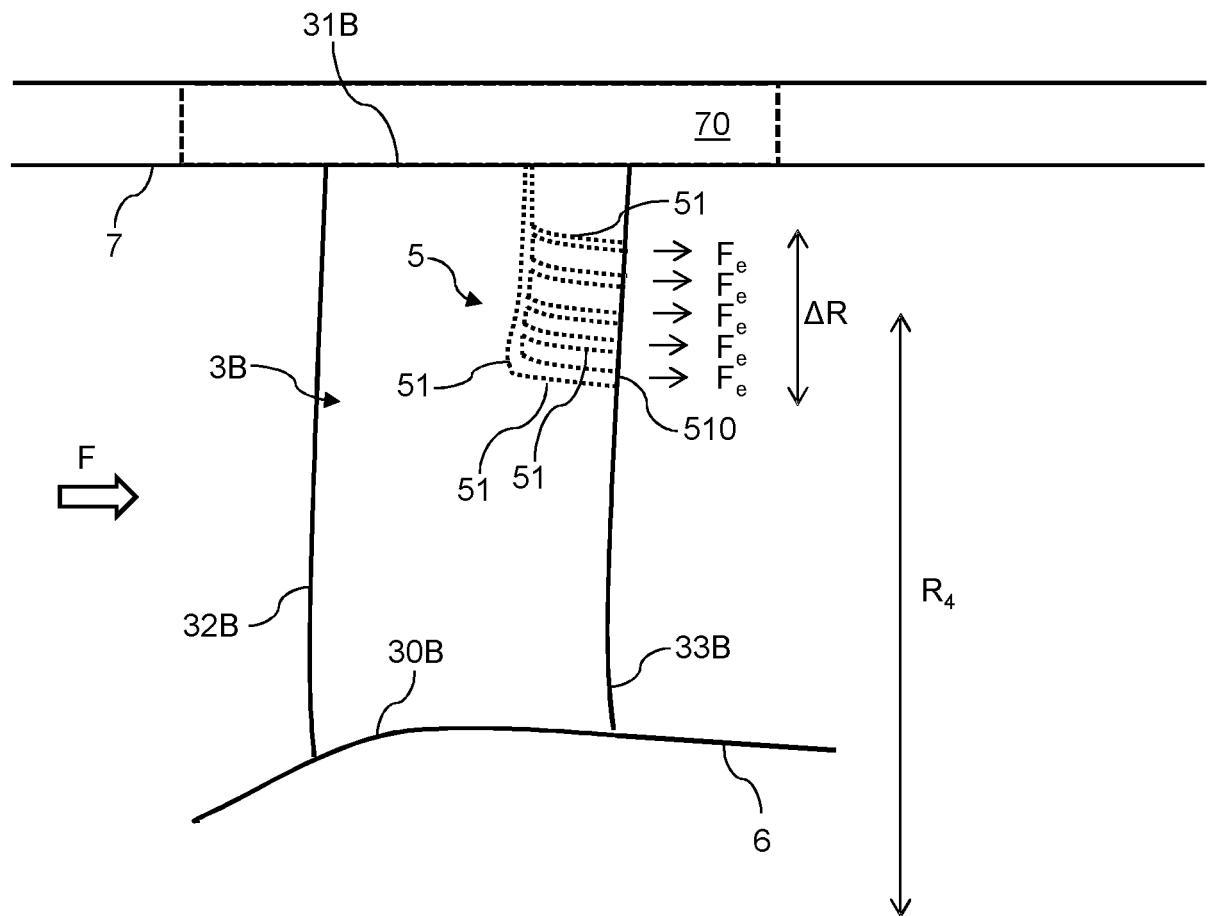


**FIGURE 4**

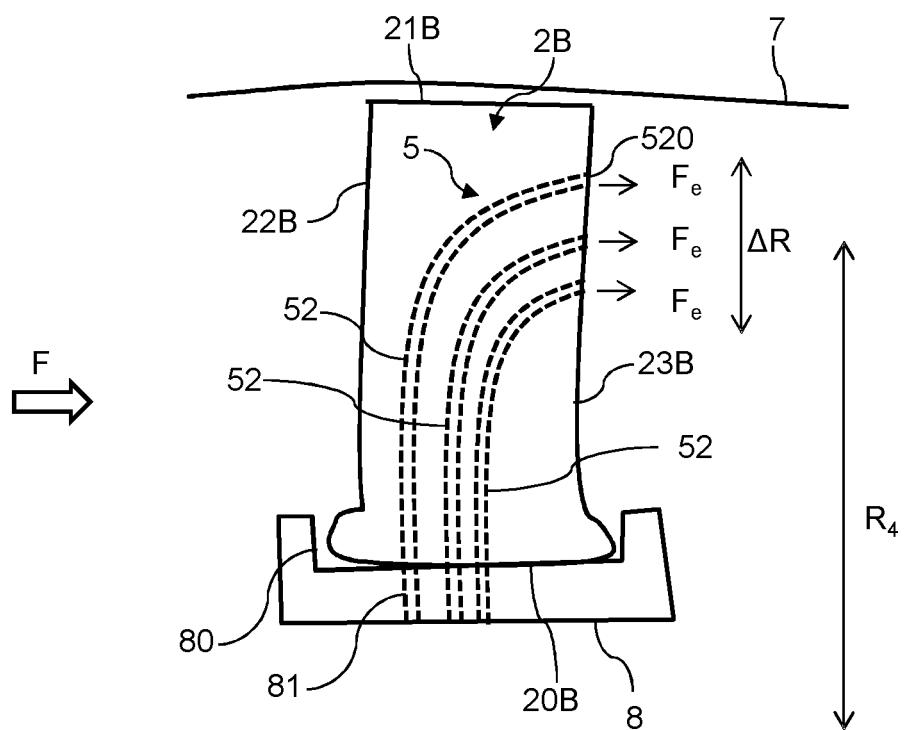


**FIGURE 5**

4 / 4



**FIGURE 6**



**FIGURE 7**

# 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

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

Le demandeur a maintenu les revendications.

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.

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**

US 6 125 626 A (EL-AINI YEHIA M [US] ET AL) 3 octobre 2000 (2000-10-03)

EP 2 006 488 A2 (IHI CORP [JP])  
24 décembre 2008 (2008-12-24)

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

US 6 004 095 A (WAITZ IAN A [US] ET AL)  
21 décembre 1999 (1999-12-21)

FR 1 263 010 A (M A N TURBOMOTOREN G M B H) 5 juin 1961 (1961-06-05)

EP 2 806 156 A1 (SIEMENS AG [DE])  
26 novembre 2014 (2014-11-26)

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

NEANT