

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

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

3 052 182

(21) Nº d'enregistrement national :
16 55127

(51) Int Cl⁸ : F 01 D 5/16 (2017.01), F 01 D 5/28, B 23 P 15/04

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 06.06.16.

(30) Priorité :

(43) Date de mise à la disposition du public de la
demande : 08.12.17 Bulletin 17/49.

(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 — FR.

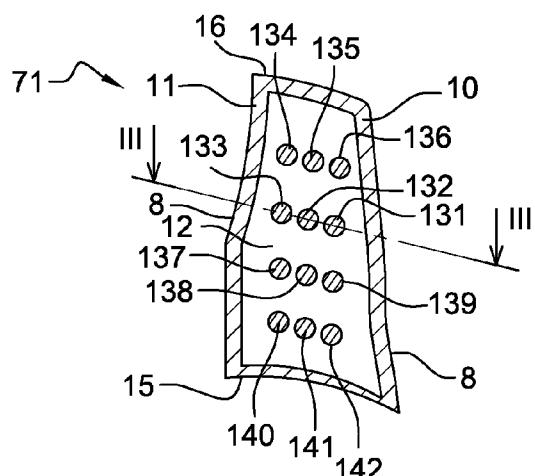
(72) Inventeur(s) : MBAYE MOUSTAPHA et MEUNIER
FRANCK, MARAC, EMILE, ARMAND, JOSEPH.

(73) Titulaire(s) : SAFRAN.

(74) Mandataire(s) : GEVERS & ORES Société anonyme.

(54) ROUE AUBAGEE DE TURBOMACHINE A COMPORTEMENT VIBRATOIRE AMELIORE.

(57) L'invention concerne une roue aubagée, de rotor ou de stator, pour une turbomachine comprenant une pluralité de secteurs, chacun des secteurs comprenant une rangée annulaire d'aubes, la machine rotative étant caractérisée en ce qu'au moins un desdits secteurs comprend une première aube (71) comportant une ou plusieurs cavités internes (12) définissant premier ensemble de modes de vibration et de leurs fréquences propres associées, et une deuxième aube comportant une ou plusieurs cavités internes définissant un deuxième ensemble de modes de vibration et de leurs fréquences propres associées, lesdits premier ensemble de fréquences propres et deuxième ensemble de fréquences propres suffisamment différents de manière à former un dé-saccordage intentionnel. L'invention concerne également un secteur et un jeu d'aubes pour la réalisation d'une telle roue aubagée, ainsi qu'un procédé de fabrication.



Roue aubagée de turbomachine à comportement vibratoire amélioré**5 Domaine de l'invention:**

La présente invention se rapporte au domaine des roues aubagées de turbomachine, de type rotor ou stator. Elle concerne plus particulièrement leur conception pour traiter des problèmes de vibrations dus à la symétrie cyclique de ces composants et aux résonances qui peuvent se produire entre les aubes de l'étage.

10

Etat de la technique :

Les roues de compresseurs (haute ou basse pression), notamment, sont de plus en plus réalisées sous forme de structures monoblocs. Ces structures sont théoriquement à symétrie cyclique, c'est-à-dire avec un secteur répétitif pour former la roue complète.

15 Avec les récentes avancées dans le processus de fabrication des aubes, on est à même de produire des structures de plus en plus uniformes en termes de géométrie et de propriétés des matériaux. Si ces avancées sont bénéfiques pour les performances aérodynamiques, la probabilité de vibrations auto-entretenues sur la roue entière est de plus en plus grande, notamment autour d'une fréquence propre pour la roue accordée, 20 où toutes les aubes sont strictement identiques.

De plus, il apparaît que le comportement dynamique de ces structures en réponse forcée est très sensible au désaccordage involontaire causé par les dispersions de fabrication ou l'usure en service qui rendent les aubes légèrement différentes les unes des autres. Cette sensibilité se traduit généralement par une amplification des 25 vibrations, l'amplitude des vibrations pouvant doubler dans certains cas par rapport à la configuration accordée.

Le mécanisme par lequel le désaccordage involontaire agit sur les niveaux vibratoires de la pièce, lorsqu'on a un écart fréquentiel faible entre les modes vibratoires des différentes aubes, vient du fait que celles-ci peuvent facilement échanger de 30 l'énergie vibratoire. Des phénomènes de localisation d'énergie vibratoire sur quelques

aubes peuvent alors apparaître, entraînant des niveaux vibratoires plus importants sur celles-ci.

Par contre, lorsque l'écart fréquentiel entre les modes vibratoires est important, l'échange d'énergie devient plus difficile entre les aubes. Un désaccordage dit intentionnel de la roue, en réalisant des aubes n'ayant pas toutes les mêmes fréquences vibratoires, permet d'obtenir des conceptions robustes très peu sensibles au désaccordage involontaire. Cette robustesse est importante dans le cadre de la conception, afin de maîtriser les niveaux vibratoires sur les résonances rencontrées en fonctionnement nominal du moteur, et limiter les risques de fatigue vibratoire HCF (initiales de la terminologie anglaise « High Cycle Fatigue » pour fatigue à grand nombre de cycles) pouvant apparaître en service.

Il est connu, par exemple dans les documents EP-A1-2 896 791 et WO-A1-2014/197119, de faire un désaccordage intentionnel en fréquences qui consiste à modifier volontairement la géométrie ou les propriétés des matériaux de quelques aubes afin d'obtenir des aubes de fréquences différentes, et à optimiser la répartition des aubes sur la circonférence du disque.

De plus, le désaccordage intentionnel est très souvent bénéfique pour stabiliser des roues aubagées vis-à-vis d'instabilités de flottement dans certaines plages de fonctionnement du moteur. En disposant de deux types d'aubes ayant des réponses vibratoires différentes, généralement de manière alternée, il s'avère que les interactions aérodynamiques entre aubes adjacentes différentes sont réduites, rendant par conséquent la roue aubagée entière plus stable d'un point de vue vibratoire.

Ces considérations s'appliquent également aux stators.

Cependant, le désaccordage intentionnel tel que décrit respectivement dans les documents EP-A1-2 896 791 et WO-A1-2014/197119, par exemple, est effectué soit par modification des propriétés des matériaux, ce qui complique la conception et la fabrication de la roue, soit par modification du profil de la pale, ce qui peut modifier l'aérodynamique des aubes et nuire au rendement énergétique de l'étage.

Il existe donc un besoin de réaliser des étages d'aubes de turbomachine, de manière à maîtriser les problèmes décrits ci-dessus.

La solution proposée a pour but d'effectuer un désaccordage intentionnel sur un étage d'aube de turbomachine, principalement de compresseur, ne présentant pas les inconvénients précités.

Un autre objectif est de pouvoir appliquer la solution proposée à tous types d'étages,

5 que ce soit un stator ou un rotor, que les aubes soient maintenues entre deux viroles concentriques ou qu'elles aient une extrémité libre.

Un autre objectif est de pouvoir adapter facilement les écarts entre les fréquences propres des aubes de types différents pour traiter aussi bien les problèmes de désaccordage involontaire que ceux dus aux instabilités de flottement.

10

Exposé de l'invention :

A cet effet, l'invention concerne une roue aubagée, de stator ou de rotor, pour une turbomachine comprenant une pluralité de secteurs, chacun des secteurs comprenant une rangée annulaire d'aubes, la roue aubagée étant caractérisée en ce qu'au moins un

15 (60) desdits secteurs comprend une première aube comportant une ou plusieurs cavités internes définissant un premier ensemble de modes de vibration et de leurs fréquences propres associées, et une deuxième aube comportant une ou plusieurs cavités internes définissant un deuxième ensemble de modes de vibration et de leurs fréquences propres associées, la première aube étant différente de la deuxième aube par la forme et/ou les dimensions et/ou la position d'au moins une cavité, de manière à définir lesdits 20 premier ensemble de fréquences propres et deuxième ensemble de fréquences propres suffisamment différents en vue de former un désaccordage intentionnel.

En effet, la différence de structure interne apportée par la différence entre les cavités permet de faire varier la raideur et les modes vibratoires des pales de manière à obtenir 25 la différence de réponse en fréquences utile pour réaliser le désaccordage intentionnel, sans modifier le matériau ou la géométrie extérieure des aubes comme sur les solutions existantes précitées.

L'invention s'applique à un rotor ou un stator, monobloc ou sectorisé, chaque secteur étant de préférence monobloc. Par exemple, pour un rotor, ce peut être un disque ou un 30 tambour aubagé monobloc et, pour un stator, un redresseur sectorisé ou annulaire.

Avantageusement, un écart fréquentiel minimal de 4% par rapport à la fréquence de résonance des aubes permet de réaliser un désaccordage intentionnel pour obtenir une conception robuste vis-à-vis des dispersion de fabrication et de l'usure en service dans une problématique de maîtrise des niveaux vibratoires sur les résonances rencontrées 5 en fonctionnement nominal du moteur, lorsque l'étage comportant lesdites aubes est fabriqué en un ou plusieurs secteurs monoblocs.

Avantageusement aussi, il est possible d'augmenter cet écart fréquentiel, par exemple pour traiter un problème de stabilité vis-à-vis du phénomène de flottement entre les aubes dans certains régimes de fonctionnement de la turbomachine.

10 De préférence, la roue aubagée comporte une répétition circonférentielle d'une série de plusieurs aubes comprenant au moins une fois la première aube et une fois la deuxième aube, de préférence avec une répartition cyclique du motif des deux aubes.

15 L'invention concerne aussi un secteur pour la réalisation d'une roue aubagée telle que décrite précédemment, comportant un segment de plateforme circonférentielle et une série de plusieurs aubes fixées audit segment de plateforme, comprenant au moins une dite première aube et une dite deuxième aube.

20 L'invention concerne également un jeu d'aubes pour la réalisation d'une roue aubagée ou d'un secteur tels que décrits précédemment, comportant au moins une première aube et une deuxième aube ayant chacune au moins une cavité, caractérisé en ce que la première aube est différente de la deuxième aube par la forme et/ou les dimensions et/ou la position de ladite cavité, de manière à définir un premier ensemble 25 de modes de vibration et de leurs fréquences propres associées pour la première aube, et un deuxième ensemble de modes de vibration et de leurs fréquences propres associées pour la deuxième aube, lesdits premier ensemble de fréquences propres et deuxième ensemble de fréquences propres étant suffisamment différents pour réaliser un désaccordage intentionnel.

Avantageusement, ladite cavité ne débouche pas sur des surfaces aérodynamiques des aubes, destinées à être en contact avec un écoulement externe.

30 D'une part, le concept n'interfère pas avec l'optimisation aérodynamique des aubes, d'autre part, il peut ainsi s'appliquer autant à des pièces dont les aubes ont une

extrémité libre qu'à celles où les aubes sont maintenues entre deux viroles concentriques.

5 De préférence, la première et la deuxième aube comportent des surfaces aérodynamiques, destinées à être en contact avec un écoulement externe, de même géométrie.

Ainsi, on évite des problèmes de conception de l'étage de turbomachine, liés aux éventuelles différences de performances aérodynamiques entre les aubes.

De préférence, la première aube et la deuxième aube sont formées du même matériau.

10 Ainsi on peut appliquer un même processus de fabrication pour la première et la deuxième aube, et ainsi simplifier la fabrication de l'étage.

Avantageusement, la première et la deuxième aube ont sensiblement la même masse.

Cela permet de minimiser les problèmes d'équilibrage dans le cas d'un rotor.

15 Selon un mode de réalisation particulier, chaque aube comportant une cavité s'étendant sensiblement du bord d'attaque au bord de fuite entre des surfaces internes d'une paroi d'intrados et d'une paroi d'extrados, la cavité de la première aube diffère de la cavité de la deuxième aube par le nombre et/ou la forme et/ou la position de renforts traversant la cavité entre les parois d'extrados et d'intrados.

20 Cette réalisation, avec des aubes dites creuses, permet de diminuer la masse des aubes.

Avantageusement, lesdits renforts sont sensiblement circonférentiels.

25 L'invention concerne aussi un procédé de fabrication d'une roue aubagée ou d'un secteur tels que décrits précédemment, comportant l'installation, sur une plateforme circonférentielle, d'une série d'aubes ayant chacune au moins une cavité interne, caractérisé en ce qu'au moins un premier type d'aube est différent d'un deuxième type d'aube par la forme et/ou les dimensions et/ou la position de ladite cavité, de façon à réaliser une rangée annulaire d'aubes présentant un désaccordage intentionnel.

Avantageusement, le procédé de fabrication comprend une étape de fabrication additive, préférentiellement par impression 3D de poudres métalliques, des aubes du jeu.

Avantageusement, les aubes, une fois réalisées, sont soudées à la plateforme, 5 préférentiellement par un procédé de friction linéaire ou orbitale.

L'étape de fabrication additive de chaque aube peut inclure la fabrication d'au moins une partie de la plateforme reliée à ladite aube.

Cela peut notamment améliorer la qualité du soudage par friction à la plateforme en modifiant la surface de contact entre les deux éléments.

10

Brève description des figures :

La présente invention sera mieux comprise et d'autres détails, caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description d'un exemple non limitatif qui suit, en référence aux dessins annexés sur 15 lesquels :

- la figure 1 présente une demi-coupe longitudinale d'une turbomachine utilisant l'invention;
- la figure 2 présente schématiquement une portion vue de face d'un étage aubagé de turbomachine utilisant l'invention ;
- la figure 3 présente une coupe transversale selon un plan passant par la ligne III- 20 III de la figure 4 pour une aube appartenant à un jeu d'aubes selon l'invention ;
- la figure 4 présente la même aube que la figure 3, coupée selon une surface longitudinale suivant le profil médian de cette aube ;
- la figure 5 présente une deuxième aube coupée selon une surface longitudinale 25 suivant son profil médian, appartenant au même jeu d'aubes selon l'invention que l'aube des figures 3 et 4 ;
- les figures 6a et 6b présentent des variantes d'aubes d'un jeu d'aube selon l'invention, coupées selon une surface longitudinale suivant leur profil médian ;
- les figures 7a à 7c montrent des courbes iso-amplitudes pour les déplacements 30 dans les trois premiers modes vibratoires de l'aube des figures 3 et 4 ; et

- les figures 8a à 8c montrent des courbes iso-amplitudes pour les déplacements dans les trois premiers modes vibratoires de l'aube pleine ayant la même géométrie externe que l'aube des figures 3 et 4.

5 Description d'un mode de réalisation :

Dans une turbomachine, par exemple une turbomachine à double flux représentée sur la figure 1, le flux d'air en sortie de soufflante 1 se divise en un flux primaire P entrant dans le moteur et en flux secondaire S entourant ce dernier. Le flux primaire traverse alors des compresseurs basse pression 2 et haute pression 3. Ces 10 compresseurs constituent des machines rotatives, ils sont composés d'étages d'aubages rotoriques 31, assurant la compression du fluide, et d'étages d'aubages statoriques 32, permettant de redresser l'écoulement du flux d'air.

L'invention concerne plus particulièrement les étages d'aubes des compresseurs haute pression 3 et/ou basse pression 2, car ils sont de plus en plus souvent réalisés 15 avec des structures monobloc. Cependant l'invention peut aussi être appliquée aux étages de turbines BP 5, voire à la soufflante 1, par exemple pour traiter des problèmes de flottement.

La figure 2 représente schématiquement une portion, d'un étage rotorique ou roue 20 31 d'un compresseur. Généralement, il comporte un disque, non représenté, supportant à sa périphérie une plateforme circonférentielle 6 sur laquelle des aubes sont fixées par une première 15 de leurs extrémités et forment une rangée en périphérie extérieure. Sur l'exemple considéré, la rangée d'aubes est formée par un jeu de quatre aubes successives 71, 72, 73, 74, qui se répète sur le pourtour de la plateforme. Ces aubes sont solidaires de la plateforme 6. Toujours sur cet exemple, la plateforme est 25 sectorisée en éléments 61, 62, supportant chacun un jeu d'aubes, de tel sorte que l'ensemble de secteur de plateforme 61 et du jeu d'aubes 71, 72, 73, 74, qu'il supporte forme une structure monobloc, représentée schématiquement entre les rayons I-I et II-II sur la figure 2. Ladite structure monobloc forme un secteur 60 de la roue 31, qui est ici formée par l'assemblage d'une succession de secteurs 60 identique et présente ainsi 30 une symétrie cyclique correspondant au nombre de secteurs utilisés.

Ici, on suppose que les quatre aubes 71, 72, 73, 74 du jeu sont différentes, selon des modalités décrites par la suite, pour réaliser le désaccordage. Il est évidemment possible d'envisager d'autres combinaisons pour former l'étage. D'une part, le nombre d'aubes d'un jeu peut être différent, au moins égal à deux, ou bien seulement une aube 5 du jeu peut être différente des autres. Le choix de ces combinaisons dépendra d'optimisations entre des paramètres tels que la fabrication d'aubes de fréquences de vibrations différentes, les conditions de fonctionnement de l'étage, etc.

D'autre part, l'ensemble de la plateforme et de la rangée d'aubes peut être monobloc. La structure monobloc peut même être éventuellement multi-étages, c'est à 10 dire composée, par exemple, d'un ou plusieurs rotors successifs, sans zones de contact et/ou assemblages entre les divers étages.

De plus, on a représenté ici un rotor 31 où la deuxième extrémité 16 des aubes, opposée à la plateforme intérieure, est libre. Dans le cas d'un stator 32, la deuxième extrémité peut être fixée à une virole extérieure, non représentée. C'est alors l'ensemble 15 de la plateforme intérieure, de la rangée annulaire d'aubes et de la virole extérieure qui forme une structure monobloc correspondant au secteur utilisé dans l'assemblage du stator.

Selon un mode de réalisation préféré, les aubes 71, 72, 73, 74 sont constituées de deux parois fines, le contour aérodynamique de l'aube, et laissant un vide entre les deux 20 surfaces. Ce type de structure est communément appelée 'aube creuse' ('Hollow Blade').

Les figures 3 et 4 montrent, selon un exemple de réalisation, la première aube 71 du jeu coupée selon une surface longitudinale de l'aube suivant un profil médian, pour la figure 4, et suivant un plan transversal passant par la droite III-III de la figure 4, pour la 25 figure 3.

On distingue sur la figure 3 la paroi intrados 8 et la paroi extrados 9. La surface extérieure 81 de la paroi intrados 8 est une surface de surpression pour l'écoulement autour de l'aube 71. La surface extérieure 91 de la paroi extrados 9 est une surface de dépression du flux. Les parois intrados 8 et extrados 9 ont une épaisseur minimale,

définie en phase de conception pour résister aux sollicitations et répondre aux divers critères de conception et fabrication.

La surface intérieure 82 de la paroi intrados 8 et la surface intérieure 92 de la paroi extrados 9 se rejoignent au bord d'attaque 10 et au bord de fuite 1, de telle sorte que 5 l'aube 71 est pleine au voisinage de ces zones.

Par contre, ces mêmes surfaces intérieures 82, 92 s'écartent lorsqu'elles s'éloignent du bord d'attaque 10 et du bord de fuite 11 permettant la formation d'une cavité 12 entre les deux parois 8, 9.

La figure 4 montre que la cavité 12 s'étend sensiblement en envergure, du pied 15 10 de l'aube fixé à la plateforme 6, non représentée sur la figure, jusque vers la tête 16 de l'aube. Par contre cette cavité 12 est fermée au niveau de la tête 16. Elle ne débouche 15 pas sur des surfaces aérodynamiques de l'aube 71, en contact avec le flux traversé.

Sur l'exemple, cette cavité 12 est également fermée au niveau du pied 15. Cependant, pour des considérations de fabrication, elle pourrait déboucher à ce niveau 15 dans un espace sous la plateforme 6, sans contact avec le flux que traverse l'aube 71.

Selon un aspect de l'invention, la cavité 12 est ici traversée par des ponts de matière qui relient la paroi intrados 8 à la paroi extrados 9 et qui forment une série de renforts, 132 à 142, d'orientation principale circonférentielle.

Dans l'exemple les renforts sont au nombre de 12 pour la première aube 71 et ils 20 sont répartis de manière sensiblement uniforme le long de la corde et de l'envergure.

La figure 5 montre, à titre indicatif, ce que pourrait être la deuxième aube 72. La deuxième aube 72 comporte également une paroi intrados 8b et une paroi extrados (non représentée), qui sont essentiellement pareilles à celle de la première aube 71 et qui sont faites du même matériau. La deuxième aube 72 a donc une même géométrie 25 extérieure que la première aube 71 et une cavité 12b dont les formes extérieures sont les mêmes.

Par contre, la deuxième aube 72 diffère de la première 71 par la répartition des renforts 131b à 142b qui traversent la cavité 12b. Ici, ils sont plus regroupés vers le pied 15b que vers la tête 16b. La cavité 12b, en tant que volume vide de matière dans la 30 deuxième aube 72, a donc une forme différente de la cavité 12 de la première aube 71.

Ces différences de répartition de matière à cause des différentes cavités 12, 12b induisent des différences dans le comportement mécanique des aubes, donc de leurs modes de vibrations et des fréquences de vibration propres à ces modes. A titre d'illustration, les figures 7a, 7b, 7c montrent les trois premiers modes de vibration de l'aube creuse 71 avec ses renforts 131 à 142, et les figures 8a, 8b, 8c montrent les trois premiers modes de vibration d'une aube pleine, faite dans le même matériau et avec la même géométrie externe. La comparaison entre ces figures montre les différences de comportement dues aux différences de structure interne et le tableau ci-dessous montre les différences de fréquences modales pour les six premiers modes. On y voit, en particulier, que l'on peut aisément obtenir une différence de 5,5% entre les fréquences dès le premier mode de vibration, qui est une valeur supérieure à un minimum de 4% pour pratiquer un désaccordage intentionnel.

| | Fréquence aube creuse | Fréquence aube pleine | Différence |
|--------|--------------------------|--------------------------|------------|
| Mode 1 | 480,3 Hz | 455 Hz | 5,5 % |
| Mode 2 | 904,6 Hz | 883,7 Hz | 2,4 % |
| Mode 3 | 1526,1 Hz | 1607,2 Hz | -5,0 % |
| Mode 4 | 1693,3 Hz | 1931,5 Hz | -12,3 % |
| Mode 5 | 2924,3 Hz | 3265,9 Hz | -10,5 % |
| Mode 6 | 3026,1 Hz | 3674,3 Hz | -17,6 % |

Sur l'exemple considéré, les aubes 71, 72, 73 et 74 ont donc des cavités internes qui diffèrent entre elles par la répartition des renforts qui les traversent. Ces paramètres sont définis en fonction des différences de fréquences modales de vibrations choisies entre ces aubes pour optimiser le désaccordage de l'étage. De préférence, comme indiqué précédemment, les aubes 71, 72, 73 et 74 sont configurées de manière à ce que la différence entre les fréquences soit au minimum de 4% sur l'ensemble des modes de vibration.

On notera par ailleurs que, les aubes 71, 72, 73, 74 du jeu ne différant que par la position des renforts, leurs masses peuvent être sensiblement égales. Cela permet de minimiser les problèmes d'équilibrage de la roue pour un rotor.

L'invention concerne aussi des jeux d'aubes qui diffèrent par tout nombre de renforts

5 ainsi que par tout type de topologie pour la section des renforts considérés (quadrangle, hexagone, pentagone, circulaire, ...), ceux-ci pouvant être pleins ou creux (cylindres ou tubes). De plus, le positionnement des renforts, aussi bien axial que radial, peut s'effectuer dans l'ensemble de l'espace paramétrique défini par le creux de la pale considérée.

10 L'invention concerne aussi tout type de modification de forme de la structure interne par les formes, les positions ou le nombre et la répartition de cavités à l'intérieur des aubes, propre à modifier leurs réponses vibratoires sans changer la géométrie externe de l'aube.

15 La figure 6a montre une aube où la surface interne 81 de la paroi intrados 8 et/ou de la paroi extrados (non représentée) présente des ondulations ou des nervures 17 qui ont des formes et/ou des positions et/ou des nombres différents suivant les aubes du jeu. La figure 6b montre une aube comportant plusieurs petites cavités internes 121 à 20 125 qui ont des formes et/ou des positions et/ou des nombres différents suivant les aubes du jeu. Dans les deux cas on peut faire varier les configurations d'une aube à l'autre pour changer les fréquences modales de vibration tout en maintenant la même masse pour les aubes du jeu.

25 L'invention se rapporte également au processus de fabrication des aubes permettant de créer les formes des cavités internes variées utilisées pour modifier les fréquences modales, et d'obtenir la pièce monobloc, sectorisée ou pas, incluant le ou les jeux d'aubes.

Dans une première étape, on utilise la fabrication additive pour la génération des jeux d'aubes, 71, 72, 73, 74, essentiellement la partie de l'aube qui est dans la veine et qui a été décrite dans les différentes variantes de réalisation.

30 L'étape de fabrication additive se rapporte à la gamme de fabrication par l'étape dit d'impression 3D de poudres métalliques. Il peut s'agir, par exemple, de la formation des

aubes par compaction laser dans un lit de poudre métallique, comme cela est décrit dans le brevet FR-B1-3004370. De préférence, le matériau utilisé pour fabriquer les aubes est un alliage de Titane, le TA6V. Cependant, la fabrication additive n'est pas limitée à un matériau particulier.

5 Dans une variante, un processus de fabrication par déformation super-plastique et de liaison par diffusion, dit de Super Plastic Forming and Diffusion Bonding, peut être utilisé pour réaliser l'aube. Ce processus, décrit par exemple dans le document WO-A1-2014/200499 pour la fabrication de parois atténuant le bruit dans une nacelle de turbomachine, permet la génération de formes complexes alvéolaires en conservant une
10 maîtrise sur les caractéristiques des matériaux. Pour la fabrication par déformation super-plastique, on pourra utiliser un alliage de titane, par exemple le TA6V.

Dans une deuxième étape, les aubes subissent des phases de traitement de surfaces adéquates. Les étapes de traitement de surfaces ici considérées sont conformes aux traitements de surfaces des conceptions actuellement connues, incluant
15 éventuellement en plus un traitement spécifique de rectification de surface sur l'aube. Cette rectification apporte une meilleure maîtrise de l'état de surface pour des considérations aérodynamiques.

Ensuite, les aubes 71, 72, 73, 74 sont soudées sur la plateforme 6 ou le segment de plateforme 61 par un procédé de soudage par friction linéaire ou orbitale. L'étape de
20 soudage par friction est, par exemple, décrite dans les documents EP-A1-2 535 516 et EP-A1-2 535 513. Cette étape permet, éventuellement, de boucher des cavités laissées ouvertes au niveau du pied des aubes pour évacuer des poudres après l'impression 3D.

En variante, la première étape inclut l'impression d'une partie de la plateforme dans la gamme de fabrication par fabrication additive.

Revendications

1. Roue aubagée (31, 32, 2), de stator ou de rotor, pour une turbomachine comprenant une pluralité de secteurs, chacun des secteurs comprenant une rangée annulaire d'aubes (71, 72, 73, 74), la roue aubagée étant caractérisée en ce qu'au moins un (60) desdits secteurs comprend une première aube (71) comportant une ou plusieurs cavités internes (12) définissant un premier ensemble de modes de vibration et de leurs fréquences propres associées, et une deuxième aube (72) comportant une ou plusieurs cavités internes (12b) définissant un deuxième ensemble de modes de vibration et de leurs fréquences propres associées, la première aube étant différente de la deuxième aube par la forme et/ou les dimensions et/ou la position d'au moins une cavité, de manière à définir lesdits premier ensemble de fréquences propres et deuxième ensemble de fréquences propres suffisamment différents en vue de former un désaccordage intentionnel.
2. Roue aubagée (31, 32, 2) selon la revendication 1, comportant une répétition circonférentielle d'une série de plusieurs aubes comprenant au moins une fois la première aube (71) et une fois la deuxième aube (72), de préférence avec une répartition cyclique du motif des deux aubes.
3. Secteur (60) pour la réalisation d'une roue aubagée (31, 32, 2) selon la revendication 1 ou 2, comportant un segment de plateforme circonférentielle (61) et une série de plusieurs aubes (71, 72, 73, 74) fixées audit segment de plateforme, comprenant au moins une dite première aube (71) et une dite deuxième aube (72).
4. Jeu d'aubes pour la réalisation d'une roue aubagée (31, 32, 2) selon la revendication 1 ou d'un secteur (60) selon la revendication 3, comportant au

moins une première aube (71) et une deuxième aube (72) ayant chacune au moins une cavité (12, 12b), caractérisé en ce que la première aube est différente de la deuxième aube par la forme et/ou les dimensions et/ou la position de ladite cavité, de manière à définir un premier ensemble de modes de vibration et de leurs fréquences propres associées pour la première aube (71), et un deuxième ensemble de modes de vibration et de leurs fréquences propres associées pour la deuxième aube (72), lesdits premier ensemble de fréquences propres et deuxième ensemble de fréquences propres étant suffisamment différents pour réaliser un désaccordage intentionnel.

5

10

5. Jeu d'aubes selon la revendication précédente, dans lequel ladite cavité (12) ne débouche pas sur des surfaces aérodynamiques des aubes (71, 72, 73, 74), destinées à être en contact avec un écoulement externe.

15

6. Jeu d'aubes selon l'une des revendications 4 ou 5, dans lequel la première aube (71) et la deuxième aube (72) ont sensiblement la même masse.

20

7. Jeu d'aubes selon l'une des revendications 4 à 6, dans lequel, chaque aube comportant une cavité (12) s'étendant sensiblement du bord d'attaque (10) au bord de fuite (11) entre des surfaces internes (82, 92) d'une paroi d'intrados (8) et d'une paroi d'extrados (9), la cavité (12) de la première aube (71) diffère de la cavité (12b) de la deuxième aube (72) par le nombre et/ou la forme et/ou la position de renforts (131-142) traversant la cavité entre les parois d'extrados (9) et d'intrados (8).

25

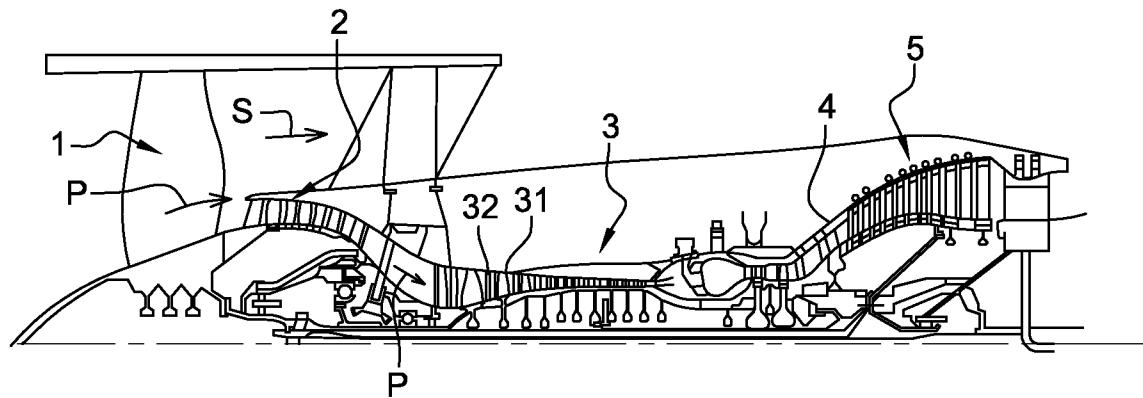
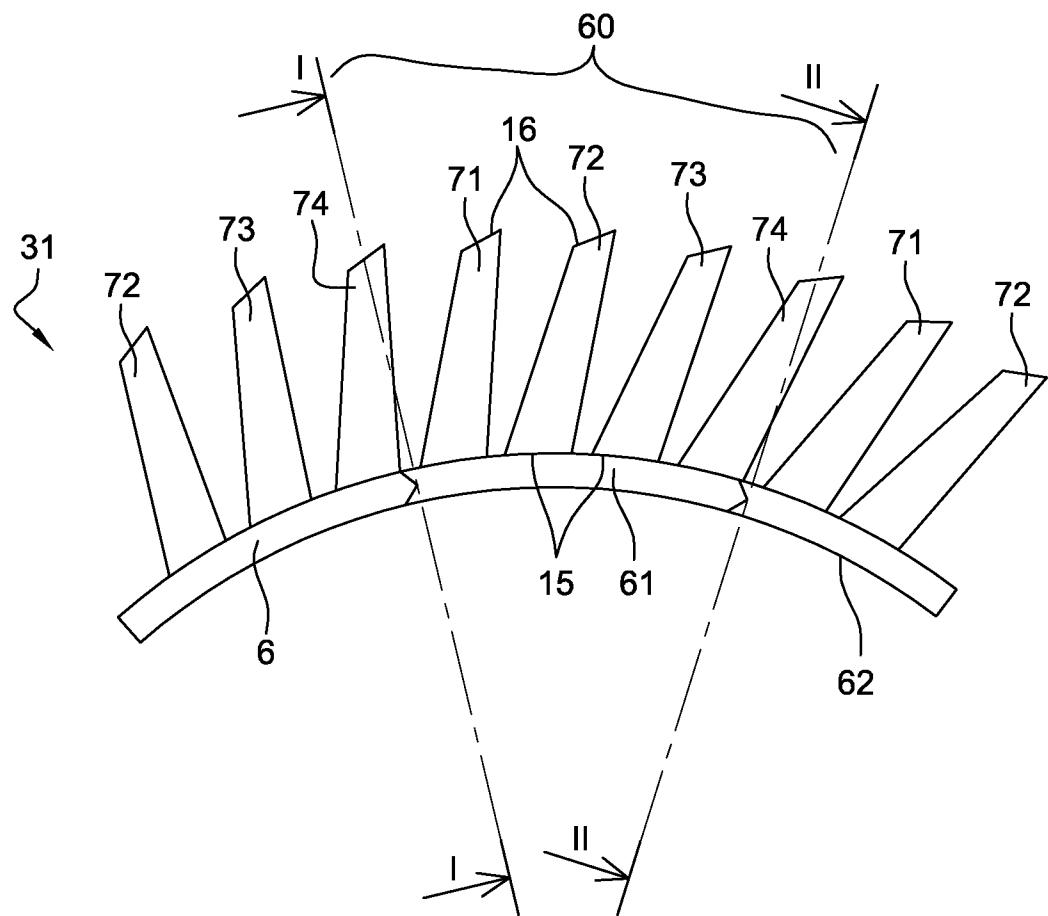
30

8. Procédé de fabrication d'une roue aubagée (31, 32, 2) selon la revendication 1 ou 2 ou d'un secteur (60) selon la revendication 3, comportant l'installation, sur une plateforme circonférentielle (6, 61), d'une série d'aubes (71, 72, 73, 74) ayant chacune au moins une cavité interne (12, 12b), caractérisé en ce qu'au moins un premier type d'aube (71) est différent d'un deuxième type d'aube (72) par la

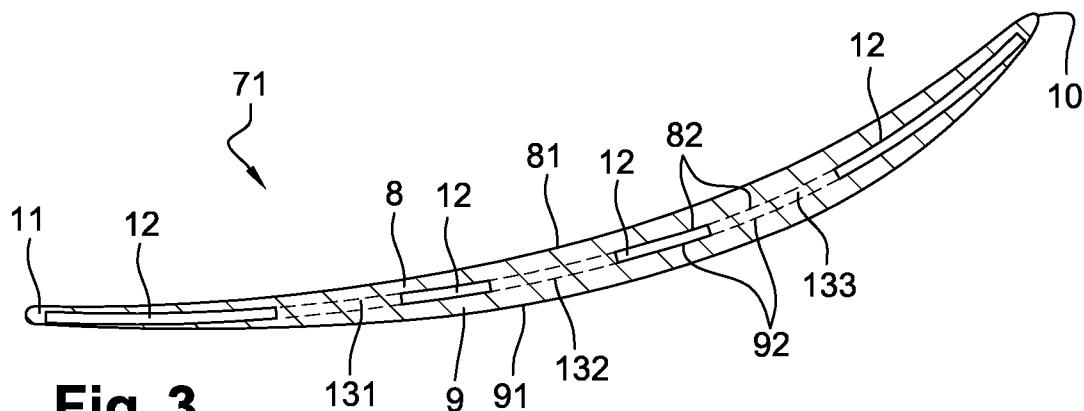
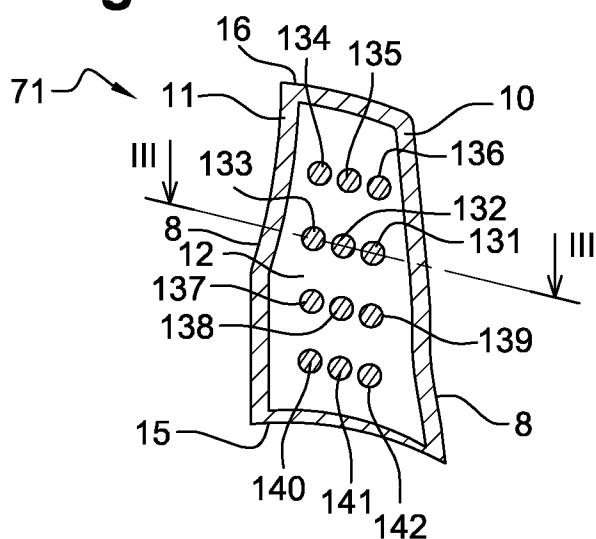
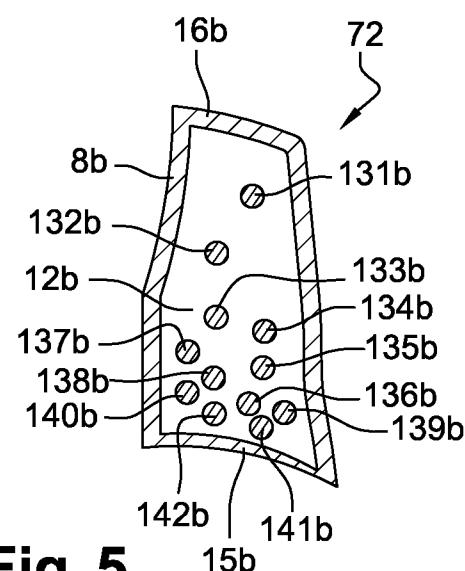
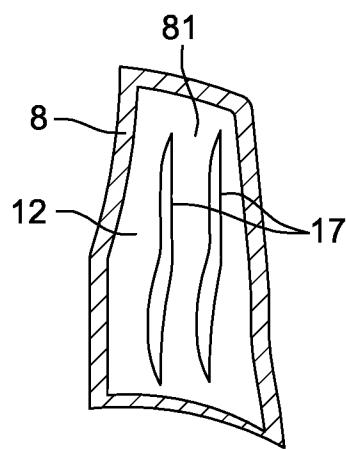
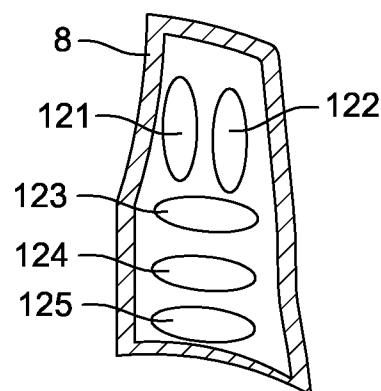
forme et/ou les dimensions et/ou la position de ladite cavité, de façon à réaliser une rangée annulaire d'aubes présentant un désaccordage intentionnel.

- 5 9. Procédé de fabrication selon la revendication précédente, comprenant une étape de fabrication additive des aubes, préférentiellement par impression 3D de poudres métalliques.
- 10 10. Procédé de fabrication selon la revendication précédente, dans lequel l'étape de fabrication additive de chaque aube inclut la fabrication d'au moins une partie d'une plateforme (61) reliée à ladite aube.

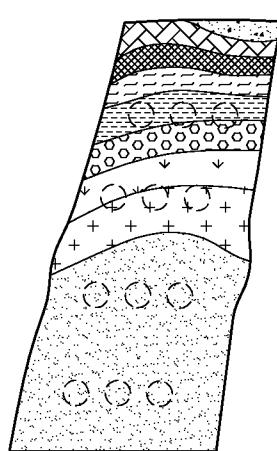
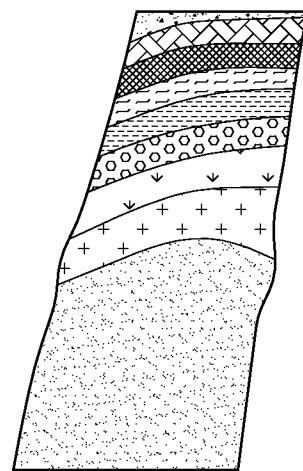
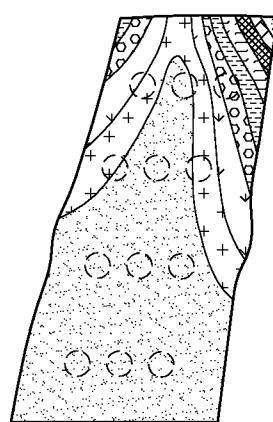
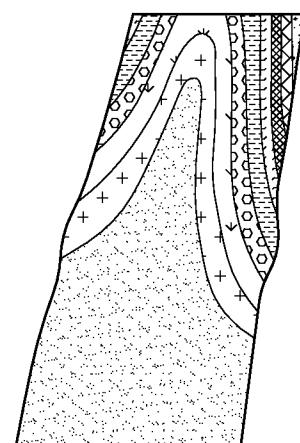
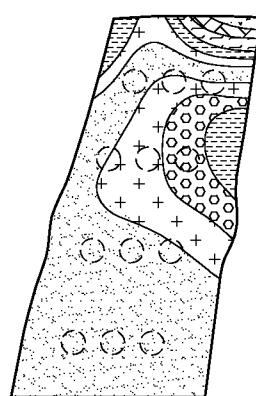
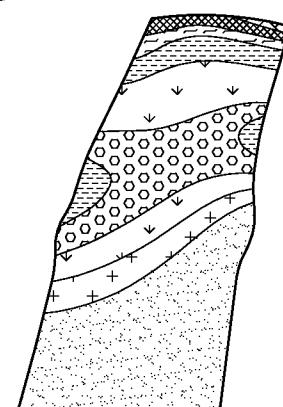
1/3

**Fig. 1****Fig. 2**

2 / 3

**Fig. 3****Fig. 4****Fig. 5****Fig. 6a****Fig. 6b**

3/3

**Fig. 7a****Fig. 8a****Fig. 7b****Fig. 8b****Fig. 7c****Fig. 8c**

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**
N° d'enregistrement
nationalFA 829375
FR 1655127établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

| 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 | US 2014/112769 A1 (SCHOENENBORN HARALD [DE]) 24 avril 2014 (2014-04-24) * alinéas [0013], [0031]; figure 1 * ----- | 1-10 | F01D5/16 F01D5/28 B23P15/04 |
| X | US 2004/208741 A1 (BARB KEVIN JOSEPH [US]) 21 octobre 2004 (2004-10-21) * alinéa [0006] * | 1-4,8-10 | |
| A | GB 1 550 597 A (CURTISS WRIGHT CORP) 15 août 1979 (1979-08-15) * figure 6 * | 2 | |
| A | EP 1 217 171 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 26 juin 2002 (2002-06-26) * alinéa [0005] * | 7 | |
| | | DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) | |
| | | F01D | |
| 1 | | | |
| | | Date d'achèvement de la recherche | Examinateur |
| | | 27 mars 2017 | Rolé, Florian |
| CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS | | | |
| X : particulièrement pertinent à lui seul | | T : théorie ou principe à la base de l'invention | |
| Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie | | E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. | |
| 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 1655127 FA 829375

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 **27-03-2017**

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

| Document brevet cité au rapport de recherche | | Date de publication | Membre(s) de la famille de brevet(s) | | Date de publication |
|--|----|---------------------|--------------------------------------|-----------------|---------------------|
| US 2014112769 | A1 | 24-04-2014 | EP | 2725193 A1 | 30-04-2014 |
| | | | ES | 2546992 T3 | 30-09-2015 |
| | | | US | 2014112769 A1 | 24-04-2014 |
| <hr/> | | | | | |
| US 2004208741 | A1 | 21-10-2004 | DE | 102004018486 A1 | 18-11-2004 |
| | | | JP | 2004316657 A | 11-11-2004 |
| | | | US | 2004208741 A1 | 21-10-2004 |
| <hr/> | | | | | |
| GB 1550597 | A | 15-08-1979 | AUCUN | | |
| <hr/> | | | | | |
| EP 1217171 | A2 | 26-06-2002 | CZ | 20013657 A3 | 14-08-2002 |
| | | | EP | 1217171 A2 | 26-06-2002 |
| | | | JP | 2002201904 A | 19-07-2002 |
| | | | KR | 20020051819 A | 29-06-2002 |
| | | | US | 2002081206 A1 | 27-06-2002 |
| <hr/> | | | | | |