

19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11) N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 143 746

21) N° d'enregistrement national : 22 13709

51) Int Cl⁸ : G 01 M 13/00 (2023.01), F 01 D 5/12, G 01 N 3/00

12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 16.12.22.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 21.06.24 Bulletin 24/25.

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 SAS
— FR.

72) Inventeur(s) : MALLAT-DESMORTIERS, Jean-Philippe Bruno Pierre, RENY, Julia, BROGERE, Jérôme, BAUMAS, Olivier Jean-Daniel et TRAN VAN HOA DIT VINCENT, Kevin.

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

74) Mandataire(s) : GEVERS & ORES.

54) CONTROLE DU FLUAGE D'UNE AUBE DE TURBOMACHINE D'AERONEF.

57) Procédé de contrôle du fluage d'une aube (12, 16) de turbomachine, en particulier d'aéronef, l'aube (12, 16) étant en alliage métallique et comportant au moins une plateforme reliée à au moins une pale (22, 32), le procédé comprenant les étapes suivantes :

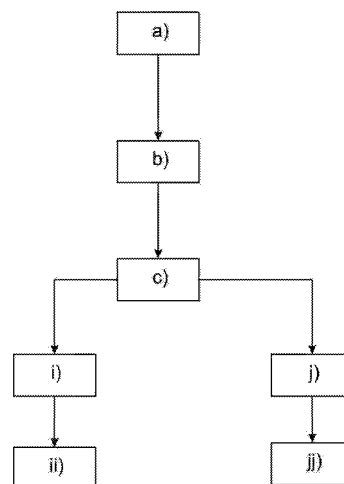
a) déterminer au moins un paramètre géométrique de contrôle de l'aube (12, 16), ce paramètre ayant une valeur susceptible d'évoluer en fonction des déformations par fluage de l'aube,

b) déterminer un seuil d'acceptabilité pour le ou chaque paramètre,

c) vérifier in situ la conformité du ou de chaque paramètre vis-à-vis du seuil correspondant, et

d) conclure sur la conformité de l'aube (12, 16) en fonction des résultats de la vérification.

Figure pour l'abrégié : Figure 5



FR 3 143 746 - A1



Description

Titre de l'invention : CONTROLE DU FLUAGE D'UNE AUBE DE TURBOMACHINE D'AERONEF

Domaine technique de l'invention

[0001] La présente invention concerne le domaine général de l'aéronautique. Elle vise plus particulièrement un procédé de contrôle du fluage d'une aube de turbomachine, en particulier d'aéronef.

Arrière-plan technique

[0002] On connaît une turbomachine comprenant une turbine 10 telle que représentée sur la [Fig.1].

[0003] La turbine 10 peut être une turbine basse pression agencée en aval d'une chambre de combustion de la turbomachine et configurée pour entraîner un arbre de soufflante de la turbomachine en détendant les gaz en sortie de la chambre de combustion.

[0004] La turbine 10 comprend une pluralité d'aubes de stator 12 portées par un carter 14 fixe, et une pluralité d'aubes de rotor 16 portées par des disques de rotor 18 solidaires les uns des autres et mobiles en rotation autour d'un axe longitudinal A de la turbomachine.

[0005] Les disques de rotor 18 sont reliés à un arbre basse pression 20 qui est configuré pour entraîner l'arbre de soufflante, directement ou par l'intermédiaire d'un réducteur par exemple.

[0006] Une aube de rotor 16 est représentée sur la [Fig.2] et des aubes de stator 12 sont représentées sur la [Fig.3].

[0007] L'aube de rotor 16 comprend par exemple une pale 22 s'étendant entre deux plateformes, respectivement interne 24 et externe 26 (ou radialement interne et externe par référence à l'axe A). La plateforme externe 26 est appelée un talon, et la plateforme interne 24 permet de relier la pale 22 à un pied 28.

[0008] Les plateformes 24, 26 définissent entre elles une partie de la veine d'écoulement des gaz dans la turbine 10. Les pieds 28 permettent de monter les aubes de rotor 16 sur les disques de rotor 18.

[0009] Les talons 26 des aubes de rotor 16 présentent des léchettes 30 configurées pour coopérer avec des garnitures abradables portées par le carter 14 en regard des aubes de rotor 16 pour assurer l'étanchéité dans la turbine 10.

[0010] Les aubes de stator 12 forment un distributeur de turbine qui a une forme annulaire et qui est sectorisé. Chaque secteur de distributeur comprend deux plateformes, respectivement interne 34 et externe 36, entre lesquelles s'étendent plusieurs aubes 12 ou pales 32. La [Fig.3] montre un secteur de distributeur comportant trois aubes 12 et

donc trois pales 32.

- [0011] Les aubes de rotor et de stator 12, 16 subissent de fortes contraintes en partie dues aux températures auxquelles elles sont soumises en fonctionnement, en particulier au-delà de 800°C. Ce « seuil » dépend du matériau et du chargement. A chargement faible, ce seuil sera plus élevé pour détecter la problématique de fluage sur le long terme vis-à-vis du temps de fonctionnement moteur.
- [0012] Dès lors, ces aubes 12, 16 peuvent présenter des déformations par fluage qu'il est important de surveiller.
- [0013] Le fluage d'une pièce correspond à la déformation dans le temps d'un matériau soumis à une contrainte constante et une température donnée. Cette déformation peut aboutir à la rupture de la pièce.
- [0014] Le fluage se caractérise par trois états principaux illustrés à la [Fig.4] :
- [0015] (I) Fluage primaire : au stade initial, le taux de déformation ϵ est relativement élevé, mais diminue avec l'augmentation du temps et de la déformation en raison du fait que le matériau connaît une augmentation de la résistance au fluage ou de l'érouissage,
- [0016] (II) Fluage secondaire : parfois appelé fluage en régime permanent, le taux de déformation ϵ est constant, c'est-à-dire que le tracé devient presque linéaire. La vitesse de déformation devient presque constante au début de l'étape secondaire. Cela est dû à l'équilibre entre l'érouissage et le recuit (adoucissement thermique). Cette étape de fluage est la mieux comprise. Le fluage en régime permanent est souvent la phase de fluage la plus longue, et
- [0017] (III) Fluage tertiaire : cela correspond à une rupture intergranulaire par décohésion des joints de grains qui va entraîner de la striction et l'apparition de porosités dans le matériau. C'est lorsque cet état devient trop présent dans les zones critiques que la pièce commence à criquer pour se rompre au final.
- [0018] On connaît des modèles numériques de simulation du fluage des aubes qui permettent de déterminer théoriquement une durée de vie des aubes. Cependant, l'estimation de la durée de vie ne correspond pas à la durée de vie réelle des aubes, et par extension de la turbine, en raison des conservatismes intégrés dans l'approche par calcul.
- [0019] Les ruptures en fluage sont liées à des phénomènes de structure mais leur origine peut être liée à des phénomènes locaux difficilement quantifiables par approche directe (mesure d'allongement de l'ordre de quelques centièmes de millimètres par exemple).
- [0020] Aujourd'hui, des endoscopies peuvent être réalisées pour vérifier qu'il n'y a pas d'apparition de criques initiées par fluage au niveau des aubes de rotor et de stator de la turbine. Néanmoins, les endoscopies ne permettent pas de connaître l'état du fluage dans les zones concernées et notamment de l'apparition du fluage tertiaire de manière généralisée annonçant la rupture imminente de la pièce. Ainsi, il n'est pas possible de

prédire l'instant pour lequel on pourrait s'attendre à l'apparition de l'amorce par fluage.

- [0021] Ainsi, pour les pièces périssant en fluage, il est nécessaire de développer une méthodologie permettant de quantifier l'état de fluage et d'estimer le potentiel réel de la pièce. Le fluage se caractérisant par une déformation locale du matériau, le potentiel en fluage de la pièce peut très souvent être corrélé avec la déformation géométrique d'une partie de la pièce. L'enjeu est alors d'établir un critère d'arrêt basé sur la mesure de cette déformation.
- [0022] Aujourd'hui, le fluage n'est pas suivi. Une des solutions possibles serait de mesurer des distances caractéristiques des pièces à l'aide de caméras utilisées en endoscopie.
- [0023] Cependant, la caméra peut ne pas avoir assez de recul dans le moteur pour permettre de mesurer précisément de grandes distances sans utiliser la technologie « *Fish Eye* ». Cette dernière permet d'obtenir une vision panoramique et donc d'étendre le champ de vue. Néanmoins, du fait de cette technologie, les images visualisées sont distordues, ne permettant pas de faire des mesures entre des éléments géométriques trop éloignés.
- [0024] Un autre moyen serait de réaliser des indicateurs visuels (traces de feutres) et de mesurer la distance entre ces indicateurs et les extrémités des pales. Néanmoins, avec le temps, la corrosion, l'oxydation la crasse et la pollution ont de grandes chances d'effacer l'indicateur visuel, et donc de réduire la précision de la mesure
- [0025] La présente invention a pour but d'apporter une solution à ce problème, qui est simple, efficace et économique.

Résumé de l'invention

- [0026] L'invention concerne un procédé de contrôle d'une aube de turbomachine, en particulier d'aéronef, l'aube étant en alliage métallique et comportant au moins une plateforme reliée à au moins une pale, le procédé comprenant les étapes suivantes :
- [0027] a) déterminer au moins un paramètre géométrique de contrôle de l'aube, ce paramètre ayant une valeur susceptible d'évoluer en fonction des déformations par fluage de l'aube,
- [0028] b) déterminer un seuil d'acceptabilité pour le ou chaque paramètre,
- [0029] c) vérifier *in situ* la conformité du ou de chaque paramètre vis-à-vis du seuil correspondant, et
- [0030] d) conclure sur la conformité de l'aube en fonction des résultats de la vérification.
- [0031] L'invention permet de contrôler de façon simple et fiable le niveau de fluage d'une aube. Pour cela, un seuil de conformité est prédéterminé pour un ou plusieurs paramètres géométriques, et l'aube est contrôlée en fonction de ces seuils pour vérifier qu'elle est ou non conforme. La valeur du ou de chaque paramètre est de préférence susceptible d'évoluer de manière significative et facilement quantifiable.

- [0032] Le contrôle ou la vérification est ici du type *in situ*. Cela signifie qu'il est réalisé directement sur l'aube et non pas à distance de cette aube, par un moyen laser.
- [0033] Une aube conforme pourra continuer à être utilisée dans une turbine. Au contraire, une aube non conforme devra être mise au rebut et donc remplacée par une neuve dans la turbine.
- [0034] Le procédé selon l'invention peut être réalisé sur une aube démontée, mais aussi sur une aube montée dans un module ou sous-module de turbine. Il suffit d'avoir accès à l'aube au sein de ce module ou sous-module pour réaliser le contrôle.
- [0035] Le procédé selon l'invention peut également présenter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises seules ou en combinaison les unes avec les autres :
- [0036] - l'étape a) consiste à déterminer un unique paramètre géométrique de contrôle ;
- [0037] - la plateforme comprend un becquet du côté d'un bord d'attaque ou de fuite de la pale, le paramètre ou l'un des paramètres déterminé(s) à l'étape a) étant un angle formé par ce becquet ;
- [0038] - ledit angle est mesuré par rapport à un plan dans lequel s'étend principalement le reste de la plateforme ;
- [0039] - le paramètre ou l'un des paramètres déterminé(s) à l'étape a) est une courbure de la pale ;
- [0040] - le paramètre ou l'un des paramètres déterminé(s) à l'étape a) est un profil d'un bord d'attaque ou de fuite de la pale ;
- [0041] - l'étape c) comprend les sous-étapes consistant à :
- [0042] i) mesurer une valeur du ou de chaque paramètre directement sur l'aube, et
- [0043] ii) comparer la ou chaque valeur mesurée audit seuil correspondant ;
- [0044] - l'étape c) comprend les sous-étapes consistant à :
- [0045] j) monter au moins un gabarit de contrôle directement sur l'aube, ce gabarit ayant une forme complémentaire d'une partie de l'aube comportant le paramètre à contrôler, et
- [0046] jj) contrôler le positionnement du gabarit sur la partie de l'aube et détecter la présence éventuelle d'un ou de jeu(x) entre le gabarit et cette partie ;
- [0047] - le gabarit est monté sur la plateforme, sur un becquet de la plateforme, ou sur un bord d'attaque ou de fuite de la ou chaque pale ;
- [0048] - l'aube fait partie d'un module ou sous-module de turbine ;
- [0049] -- l'étape a) comprend une sous-étape consistant à réaliser au moins un abaque à partir de plusieurs échantillons d'aube ;
- [0050] -- l'abaque ou chaque abaque montre l'évolution de la valeur d'un paramètre de contrôle en fonction du nombre de cycles de la turbomachine ou de la turbine comportant la pièce ;
- [0051] -- l'aube est une aube de rotor ou de stator ;
- [0052] -- l'aube est formée d'une seule pièce ; en variante, elle est formée par l'assemblage

de pièces ;

- [0053] -- ladite plateforme est une plateforme externe, ou en variante interne ;
- [0054] -- l'aube comporte une unique plateforme ;
- [0055] -- l'aube comporte deux plateformes, respectivement interne et externe, entre lesquelles s'étendent la ou les pales ;
- [0056] -- l'aube comporte une unique pale ;
- [0057] -- l'aube comporte au moins deux pales.

Brève description des figures

- [0058] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaitront au cours de la lecture de la description détaillée qui va suivre pour la compréhension de laquelle on se reportera aux dessins annexés dans lesquels :
- [0059] [Fig.1] la [Fig.1] est une demi vue schématique en coupe axiale d'une turbomachine d'aéronef, et en particulier d'une turbine de cette turbomachine ;
- [0060] [Fig.2] la [Fig.2] est une vue schématique en perspective d'une aube de rotor de la turbomachine de la [Fig.1] ;
- [0061] [Fig.3] la [Fig.3] est une vue schématique en perspective d'une aube de stator de la turbomachine de la [Fig.1] ;
- [0062] [Fig.4] la [Fig.4] est un graphe montrant l'évolution de l'allongement ϵ d'une pièce au cours du temps t , lorsque cette pièce est soumise à une contrainte constante à température constante ;
- [0063] [Fig.5] la [Fig.5] est un schéma bloc montrant des étapes d'un procédé selon l'invention de contrôle d'une aube ;
- [0064] [Fig.6a-6c] les figures 6a-6c sont des vues schématiques d'un becquet d'une aube, et représentent respectivement trois niveaux de déformation par fluage de l'aube ;
- [0065] [Fig.7] la [Fig.7] est une vue schématique d'un becquet d'une aube, et montre des paramètres géométriques de contrôle de cette aube ;
- [0066] [Fig.8a-8c] les figures 8a-8c sont des vues schématiques d'un becquet d'une aube et d'un gabarit de contrôle monté sur ce becquet, et représentent respectivement trois positions distinctes du gabarit liées au fluage de l'aube ;
- [0067] [Fig.9] la [Fig.9] est un graphe montrant l'évolution du paramètre illustré à la [Fig.7] en fonction du nombre de cycles de fonctionnement de la turbomachine ou de la turbine ;
- [0068] [Fig.10] la [Fig.10] est une vue schématique en coupe d'une aube et montre un paramètre géométrique de contrôle de cette aube ; et
- [0069] [Fig.11] la [Fig.11] est une vue schématique d'une aube et montre un autre paramètre géométrique de contrôle de cette aube.

Description détaillée de l'invention

- [0070] Les figures 1 à 4 ont été décrites dans ce qui précède.
- [0071] On se réfère désormais à la [Fig.5] qui illustre un mode de réalisation d'un procédé selon l'invention de contrôle du fluage d'une aube de turbomachine, en particulier d'aéronef.
- [0072] Cette aube peut être une aube de rotor 16 ou de stator 12 telle qu'illustrée aux figures 2 et 3.
- [0073] L'aube est en alliage métallique. Elle peut être formée d'une seule pièce ou en variante être réalisée par l'assemblage de pièces. L'aube comporte au moins une plateforme reliée à au moins une pale. Dans l'exemple représenté, l'aube comporte deux plateformes, respectivement interne 24, 34 et externe 26, 36, entre lesquelles s'étendent au moins une pale 22, 32.
- [0074] En fonctionnement, les gaz qui circulent à travers les aubes et les pales atteignent des températures élevées qui peuvent entraîner un phénomène de fluage.
- [0075] Le procédé selon l'invention comprend les étapes consistant à :
- [0076] a) déterminer au moins un paramètre géométrique de contrôle de l'aube, ce paramètre ayant une valeur susceptible d'évoluer, de préférence de manière significative et facilement quantifiable, en fonction des déformations par fluage de l'aube,
- [0077] b) déterminer un seuil d'acceptabilité pour le ou chaque paramètre,
- [0078] c) vérifier *in situ* la conformité du ou de chaque paramètre vis-à-vis du seuil correspondant, et
- [0079] d) conclure sur la conformité de l'aube en fonction des résultats de la vérification.
- [0080] Le procédé selon l'invention comprend donc pour l'essentiel 4 étapes a), b), c) et d).
- [0081] Chacune de ces étapes peut comprendre des sous-étapes.
- [0082] Concernant la première étape a), elle consiste à déterminer un ou plusieurs paramètres géométriques de contrôle de l'aube. Le paramètre de contrôle peut être unique dans la mesure où un seul paramètre pourrait être suffisant pour contrôler le fluage de l'aube, par exemple dans la zone la plus susceptible de se déformer par fluage en fonctionnement.
- [0083] Comme on le verra dans ce qui suit, ce paramètre peut être une distance ou un angle par exemple.
- [0084] L'étape a) peut comprendre une sous-étape consistant à réaliser un abaque à partir de plusieurs échantillons d'aube, cet abaque montrant par exemple l'évolution de la valeur d'un paramètre de contrôle en fonction du nombre de cycles subis par cette pièce. Un cycle est compris comme un cycle de fonctionnement de la turbomachine ou de la turbine, et comprend pour l'aéronef un démarrage, un décollage, un vol de croisière, un atterrissage et un arrêt moteur.
- [0085] La seconde étape consiste à déterminer le seuil d'acceptabilité du ou de chaque paramètre de contrôle. Par exemple, pour un angle, un seuil pourrait être déterminé de

sorte que, lorsque la valeur de cet angle est inférieure au seuil, le fluage de l'aube n'est pas significatif, et lorsque la valeur de cet angle est supérieure au seuil, le fluage de l'aube est trop important et cette aube risque de criquer ou de se rompre. Dans un autre exemple, pour une distance, un seuil pourrait être déterminé de sorte que, lorsque la valeur de cette distance est supérieure au seuil, le fluage de l'aube n'est pas significatif, et lorsque la valeur de cette distance est inférieure au seuil, le fluage de l'aube est trop important et cette aube risque de criquer ou de se rompre.

- [0086] L'étape c) consiste ainsi à vérifier la conformité du ou de chaque paramètre vis-à-vis du seuil correspondant, directement sur l'aube. Nous verrons qu'il y a au moins deux approches pour réaliser cette étape c).
- [0087] Cette étape c) peut être réalisée sur une aube ou un secteur de distributeur démonté, ou bien sur une aube qui est montée dans un module ou sous-module de turbine ;
- [0088] Enfin, l'étape d) permet de conclure sur la conformité de l'aube et donc son niveau de fluage, en fonction des résultats de l'étape c).
- [0089] Les figures 6a à 9 illustrent un premier paramètre géométrique qui peut être contrôlé dans le cadre du procédé selon l'invention, et qui concerne un becquet de plateforme.
- [0090] Chacune des plateformes 24, 26 comprend un bord amont situé du côté d'un bord d'attaque 38 de la pale 22, 32, et un bord aval situé du côté d'un bord de fuite 40 de la pale 22, 32 (figures 2 et 3). Chacun de ces bords amont et aval forme un becquet 42.
- [0091] Comme on le voit dans les dessins, ce becquet 42 est en porte à faux et est une zone privilégiée de déformation par fluage de l'aube 12, 16.
- [0092] Les efforts centrifuges, les efforts des gaz, voire le montage en prétorsion des aubes, ont une influence d'autant plus importante sur les portions de la pièce se trouvant en porte-à-faux, ce qui peut générer des concentrations locales de contraintes. Par exemple, le becquet amont du talon est en porte-à-faux et génère une concentration locale de contraintes en bord d'attaque haut de pale sous l'effet de la force centrifuge. Ces contraintes locales peuvent conduire à des apparitions de criques en zone critique ou même une rupture par fluage en sommet de pale du bord d'attaque vers le bord de fuite, le long du talon. Cette déformation géométrique due au fluage est observée au niveau du becquet amont du talon qui présente une déflexion vers le haut. Une fois corrélée avec l'état de fluage dans la pale, c'est la mesure de la déflexion du becquet qui permet d'établir un paramètre de contrôle de la pièce.
- [0093] Les figures 6a à 6c montrent par exemple trois niveaux distincts de fluage du becquet 42 d'une plateforme externe 26, 36 d'une aube 12, 16. Dans la figure 6a, le becquet 42 n'a pas subi de fluage. Dans la figure 6b, le becquet 42 a commencé à se déformer par fluage en se déformant vers l'extérieur, c'est-à-dire du côté opposé à la pale 22. Dans la figure 6c, cette déformation est encore plus importante et l'aube risque de criquer voire de se rompre.

- [0094] On constate dans ces figures 6a-6c que l'angle α que forme le becquet 42 avec le reste de la plateforme 26, 36, et en particulier avec un plan P passant par le reste de la plateforme 26, 36, varie et en particulier augmente avec le fluage.
- [0095] L'angle α peut ainsi être un paramètre de contrôle au sens de l'invention.
- [0096] Au lieu de l'angle α , une distance H entre le plan P et l'extrémité du becquet 42 pourrait être utilisé comme paramètre de contrôle ([Fig.7]).
- [0097] La [Fig.9] montre l'évolution de l'angle α du becquet 42 en fonction du nombre de cycles de la turbomachine. Cette figure est un abaque tel que décrit dans ce qui précède. L'angle initial du becquet visible à la figure 6a est noté α_0 . Le seuil de conformité de cet angle est noté α_s . Dans le cas où l'angle α_1 du becquet est inférieur au seuil α_s , l'aube peut continuer à être utilisée car le fluage de l'aube n'est pas encore trop important. Dans le cas où l'angle α_2 du becquet est supérieur au seuil α_s , l'aube doit être mise au rebut et remplacée car elle risque de fissurer à tout instant.
- [0098] Selon un mode de réalisation de l'invention ([Fig.4]), l'étape c) comprend les sous-étapes consistant à :
- [0099] i) mesurer une valeur du ou de chaque paramètre, tel que l'angle α ou la distance H, directement sur l'aube, et
- [0100] ii) comparer la ou chaque valeur mesurée audit seuil correspondant.
- [0101] La sous étape de mesure i) peut être réalisée au moyen d'un outil approprié quelconque, tel qu'un rapporteur, un comparateur, une règle, une jauge, etc.
- [0102] La sous étape de comparaison peut être faite par un ordinateur ou simplement par l'opérateur effectuant la mesure de la valeur. Cet opérateur n'aura pas de difficulté à déterminer si la valeur mesurée à la sous étape i) est inférieure ou supérieure à la valeur seuil.
- [0103] Selon une variante de réalisation de l'invention ([Fig.4]), l'étape c) comprend les sous-étapes consistant à :
- [0104] j) monter au moins un gabarit 44 de contrôle directement sur l'aube, ce gabarit ayant une forme complémentaire d'une partie de l'aube comportant le paramètre à contrôler, et
- [0105] jj) contrôler le positionnement du gabarit 44 sur la partie de l'aube et détecter la présence éventuelle d'un ou de jeu(x) J entre le gabarit et cette partie.
- [0106] Cette variante est illustrée aux figures 8a à 8c.
- [0107] Le gabarit 44 choisi a une forme complémentaire de la plateforme et du becquet 42 par exemple lorsque le paramètre à contrôler est à la valeur seuil. Le gabarit 44 définit des points d'appui sur la plateforme dans des zones prédéterminées, et par exemple une première zone Z1 au niveau du becquet 42, une seconde zone Z2 au niveau du reste de la plateforme, et une troisième zone au niveau de la jonction des zones Z1 et Z2. Le gabarit 44 est ici destiné à être engagé sous la plateforme 26, 36, au niveau de sa

jonction avec la pale 22, 32. Dans le cas d'une aube de rotor 16 ([Fig.2]), le gabarit 44 peut être engagé d'un côté ou de l'autre du bord d'attaque 38 ou de fuite 40, ou bien des deux côtés. Dans le cas d'une aube de stator 12 ou d'un distributeur de turbine ([Fig.3]), le gabarit 44 peut être engagé sur une partie seulement ou sur l'intégralité de l'étendue circonférentielle du distributeur et peut donc s'étendre devant les bords d'attaque 38 de plusieurs pales 32 ou derrière les bords de fuite 40 de plusieurs pales 40.

- [0108] Dans le cas de la figure 8a, le becquet 42 est similaire à celui de la figure 6a. Le gabarit 44 est en appui au niveau des zones Z1, Z2 et il n'y a volontairement pas d'appui au niveau de la zone Z3.
- [0109] Dans le cas de la figure 8b, le becquet 42 est similaire à celui de la figure 6b. Le gabarit 44 est en appui au niveau de toutes les zones Z1, Z2, Z3.
- [0110] Dans le cas de la figure 8c, le becquet 42 est similaire à celui de la figure 6c. Le gabarit 44 est en appui au niveau des zones Z2, Z3 et un jeu J apparaît au niveau de la zone Z1, ce jeu J étant visible pour un opérateur. L'existence de ce jeu est détectée à la sous-étape jj) et permet à un opérateur de déclarer l'aube comme non conforme
- [0111] En variante, le paramètre qui pourrait être contrôlé à l'étape c) pourrait être :
- [0112] - la courbure de la pale 22, 32 qui est susceptible d'évoluer localement avec le fluage de l'aube ([Fig.10]),
- [0113] - le profil du bord d'attaque 38 ou de fuite 40 de la pale 22, 32 ([Fig.11]).
- [0114] En fonction du ou des paramètres de contrôle choisis, un ou plusieurs gabarits sont montés sur l'une des plateformes, sur l'un des becquets, sur le bord d'attaque ou de fuite de la pale ou de l'une des pales, etc.
- [0115] La présente invention permet de mettre le plus tard possible les aubes au rebut, tout en garantissant un fonctionnement sain des turbines et turbomachines. Elle permet ainsi une économie financière significative car il y a moins de pièces à changer car leur utilisation est maximisée, moins de déposes de turbine anticipées impactant le client, moins de pièces à changer car le risque de rupture de pièces et de débris libérés est nettement réduit, etc. En conclusion, cette invention permet d'améliorer la robustesse des turbomachines et turbines et de réduire le risque de dépose moteur non prévues.

Revendications

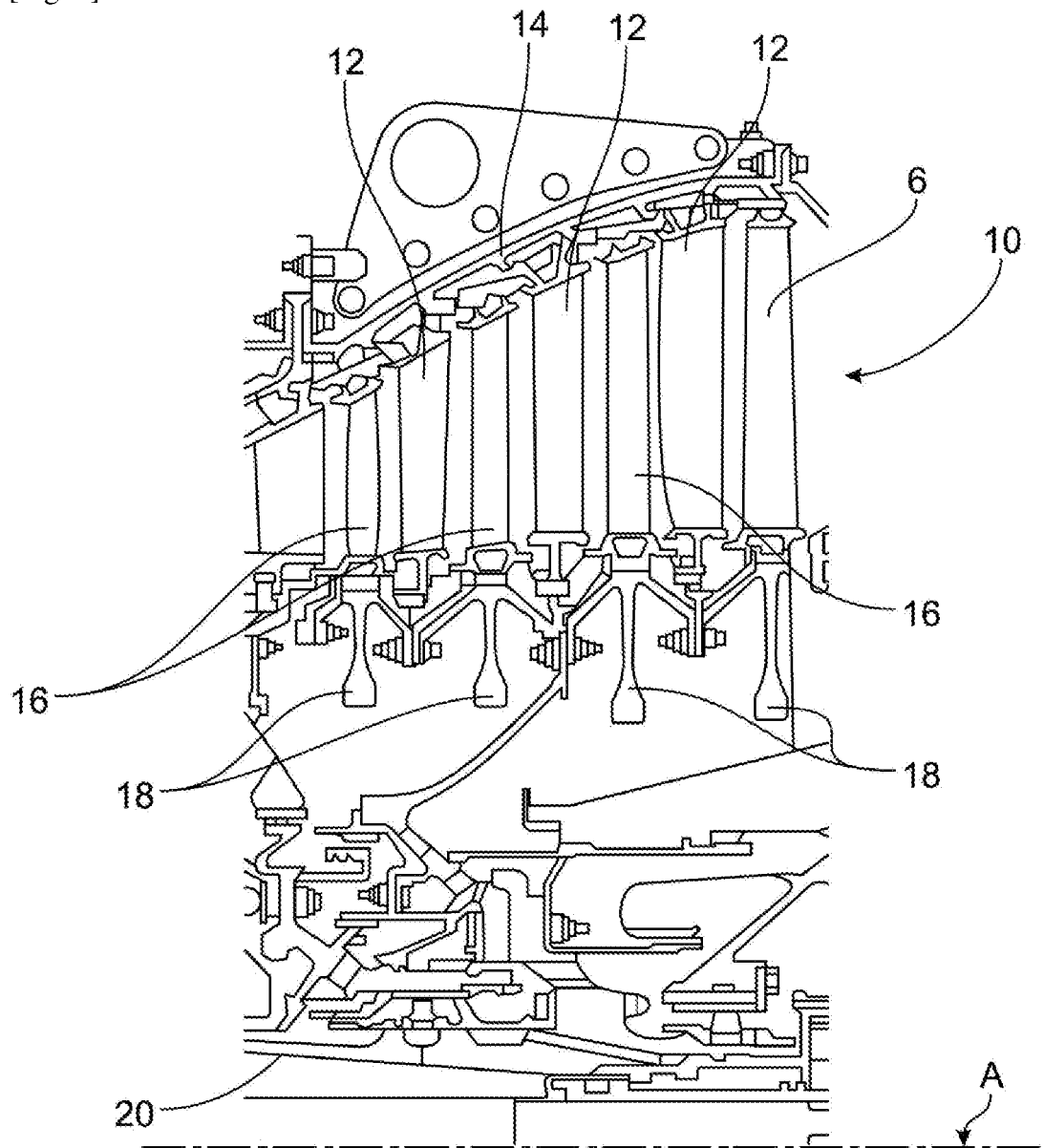
- [Revendication 1] Procédé de contrôle du fluage d'une aube (12, 16) de turbomachine, en particulier d'aéronef, l'aube (12, 16) étant en alliage métallique et comportant au moins une plateforme reliée à au moins une pale (22, 32), le procédé comprenant les étapes suivantes :
- a) déterminer au moins un paramètre géométrique de contrôle de l'aube (12, 16), ce paramètre ayant une valeur qui évolue en fonction des déformations par fluage de l'aube,
 - b) déterminer un seuil d'acceptabilité pour le ou chaque paramètre,
 - c) vérifier *in situ* la conformité du ou de chaque paramètre vis-à-vis du seuil correspondant, et
 - d) conclure sur la conformité de l'aube (12, 16) en fonction des résultats de la vérification.
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'étape a) consiste à déterminer un unique paramètre géométrique de contrôle.
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la plateforme (26, 36) comprend un becquet (42) du côté d'un bord d'attaque (38) ou de fuite (40) de la pale (22, 32), le paramètre ou l'un des paramètres déterminé(s) à l'étape a) étant un angle (α) formé par ce becquet (42).
- [Revendication 4] Procédé selon la revendication 3, dans lequel ledit angle (α) est mesuré par rapport à un plan (P) dans lequel s'étend principalement le reste de la plateforme (26, 36).
- [Revendication 5] Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le paramètre ou l'un des paramètres déterminé(s) à l'étape a) est une courbure de la pale (22, 32).
- [Revendication 6] Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le paramètre ou l'un des paramètres déterminé(s) à l'étape a) est un profil d'un bord d'attaque (38) ou de fuite (40) de la pale (22, 32).
- [Revendication 7] Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'étape c) comprend les sous-étapes consistant à :
- i) mesurer une valeur du ou de chaque paramètre directement sur l'aube (12, 16), et
 - ii) comparer la ou chaque valeur mesurée audit seuil correspondant.
- [Revendication 8] Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel l'étape c) comprend les sous-étapes consistant à :
- j) monter au moins un gabarit de contrôle (44) directement sur l'aube (12, 16), ce gabarit (44) ayant une forme complémentaire d'une partie

de l'aube (12, 16) comportant le paramètre à contrôler, et
jj) contrôler le positionnement du gabarit (44) sur la partie de l'aube et
détecter la présence éventuelle d'un ou de jeu(x) (J) entre le gabarit (44)
et cette partie.

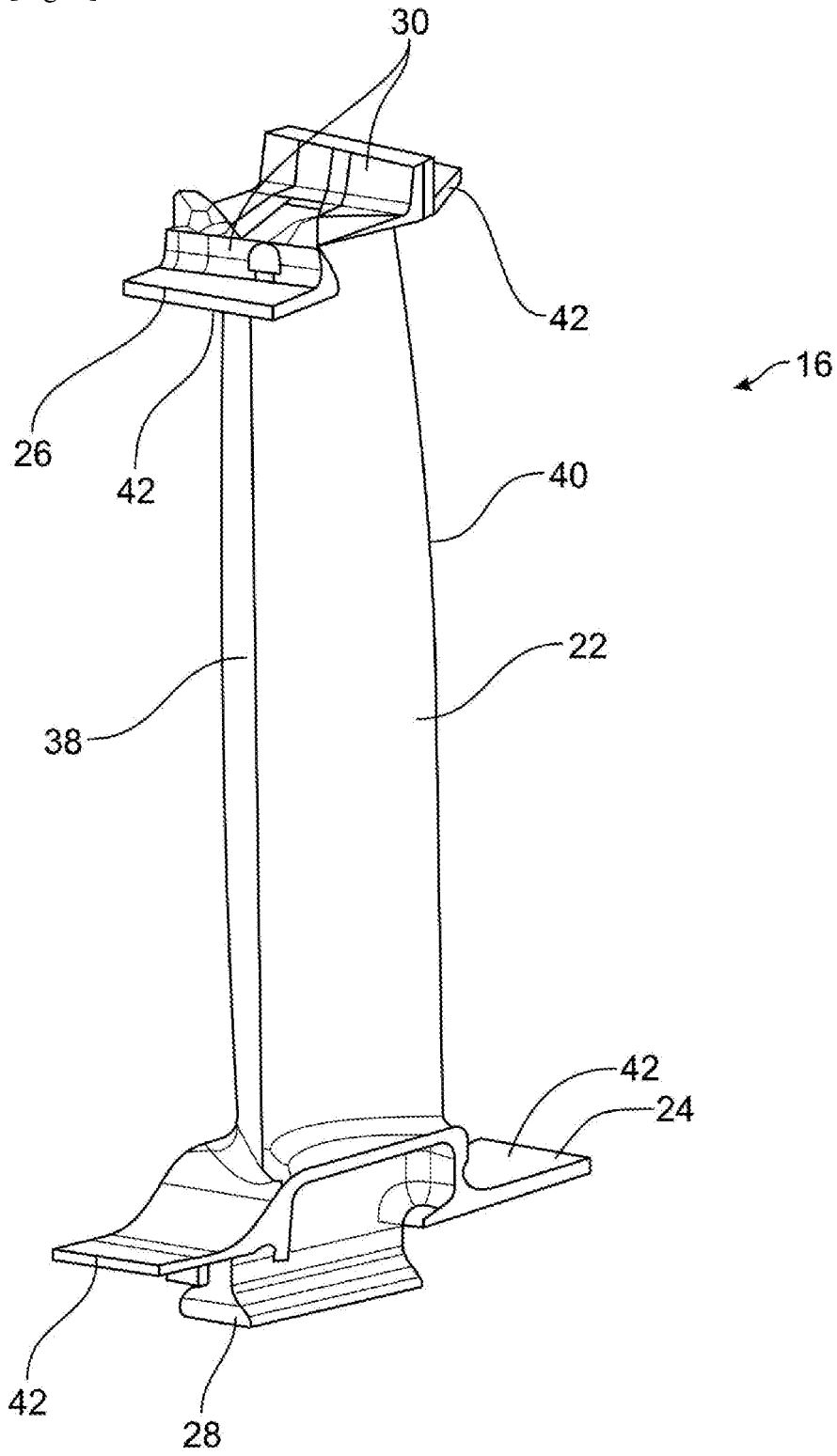
[Revendication 9] Procédé selon la revendication précédente, dans lequel le gabarit (44)
est monté sur la plateforme, sur un becquet (42) de la plateforme (26,
36), ou sur un bord d'attaque (38) ou de fuite (40) de la ou chaque pale
(22, 32).

[Revendication 10] Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'aube
(12, 16) fait partie d'un module ou sous-module de turbine.

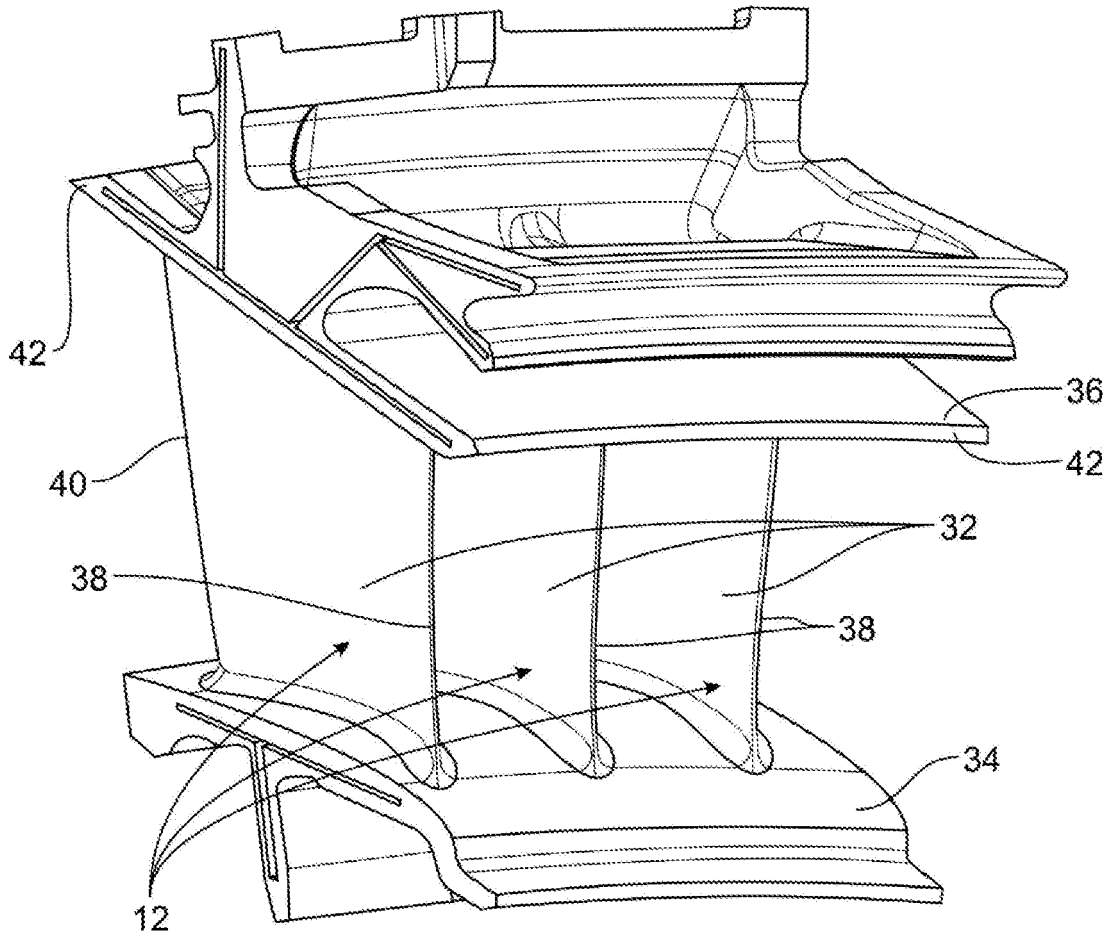
[Fig. 1]



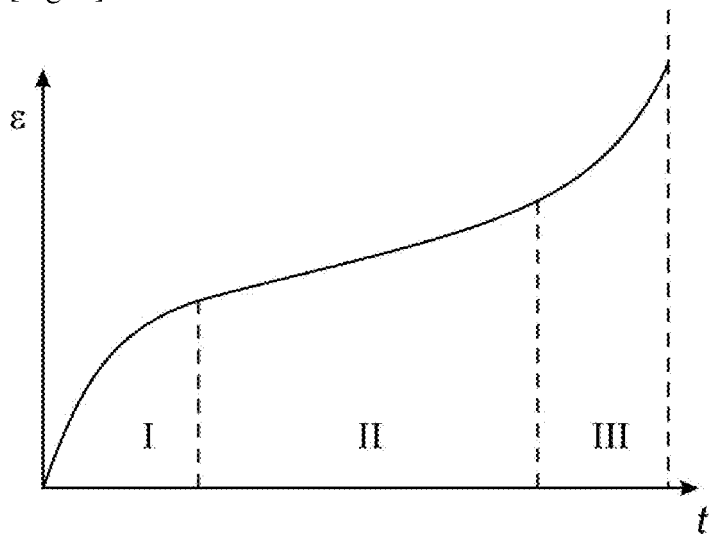
[Fig. 2]



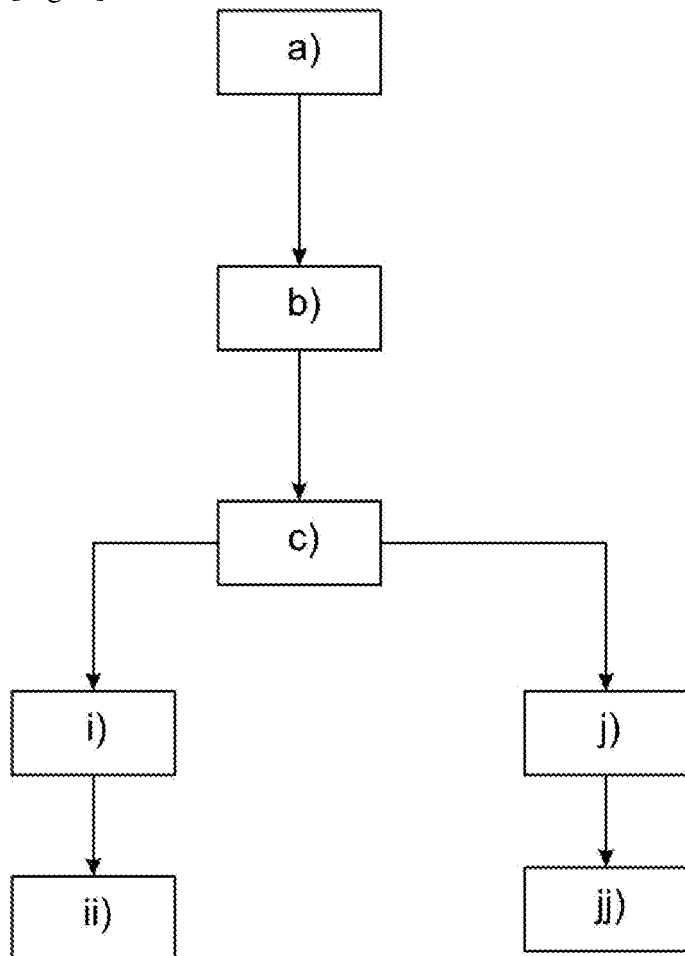
[Fig. 3]



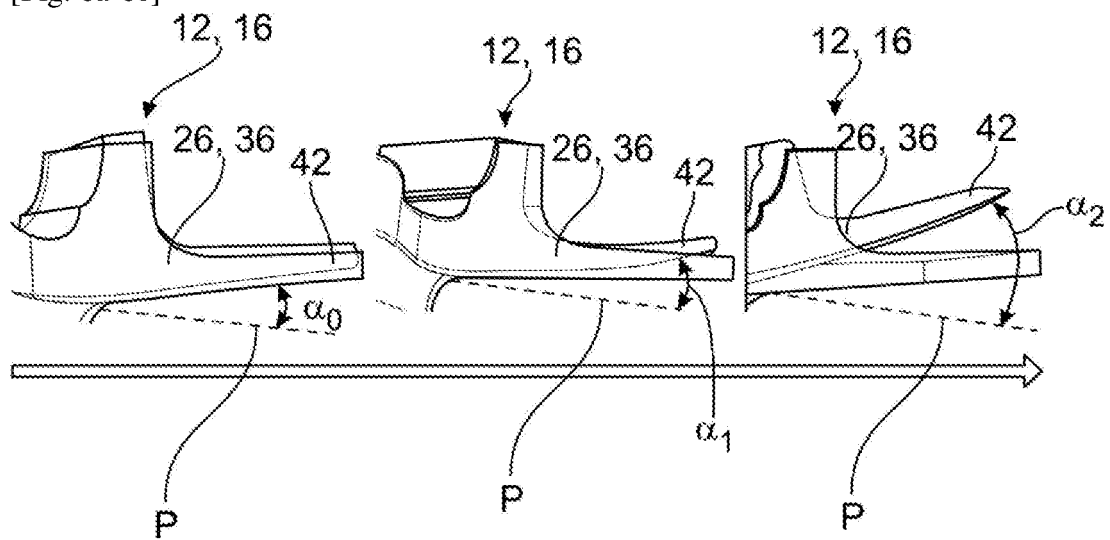
[Fig. 4]



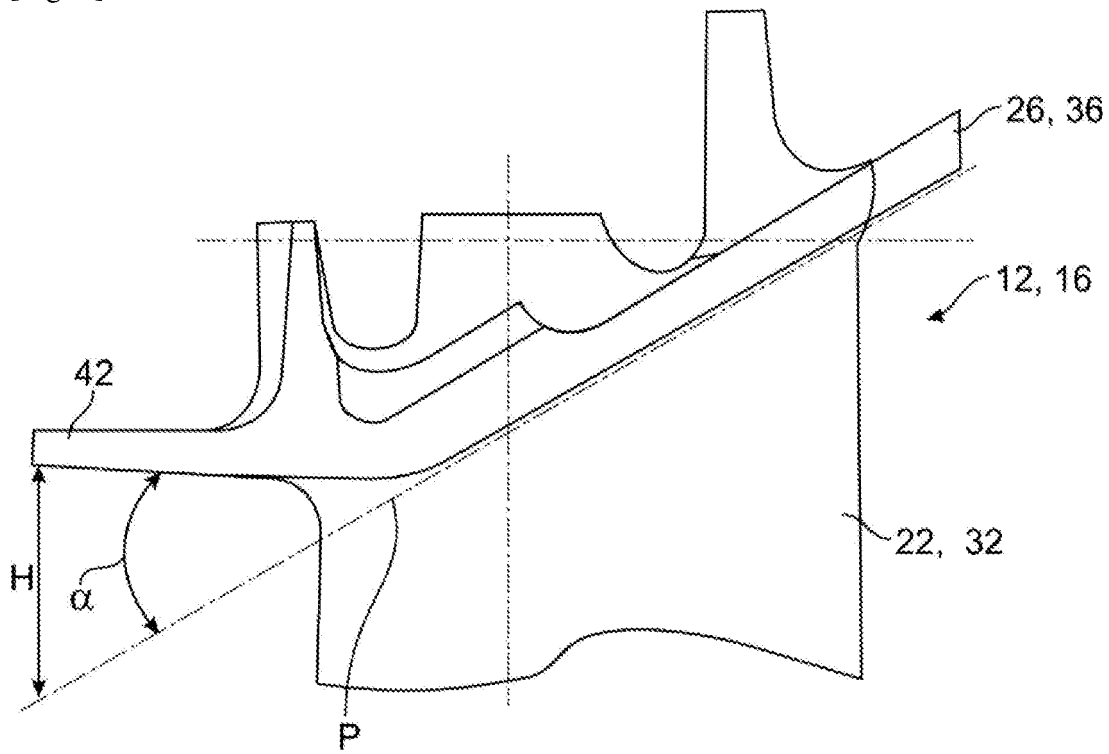
[Fig. 5]



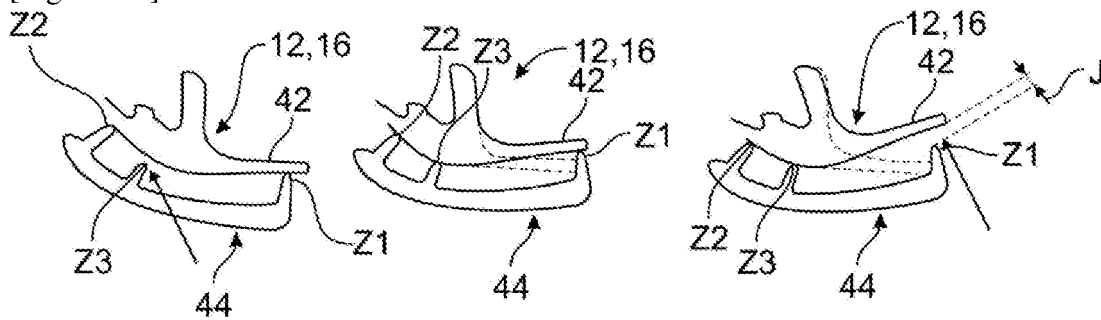
[Fig. 6a-6c]



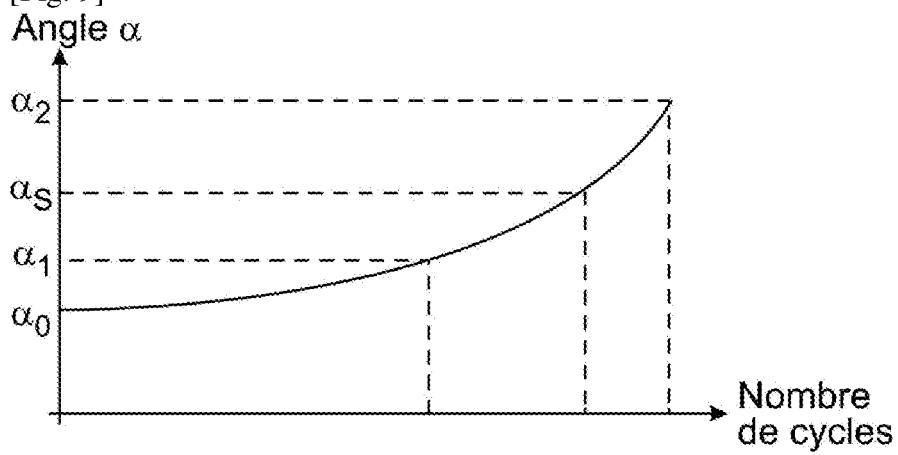
[Fig. 7]



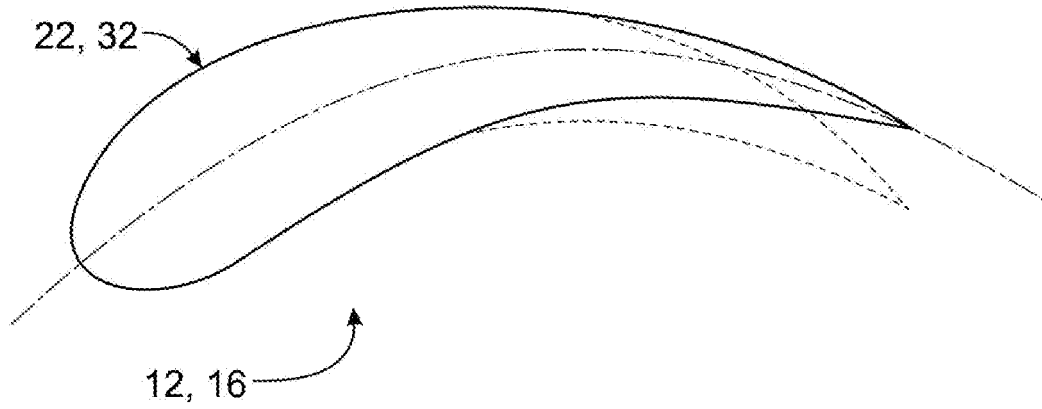
[Fig. 8a-8c]



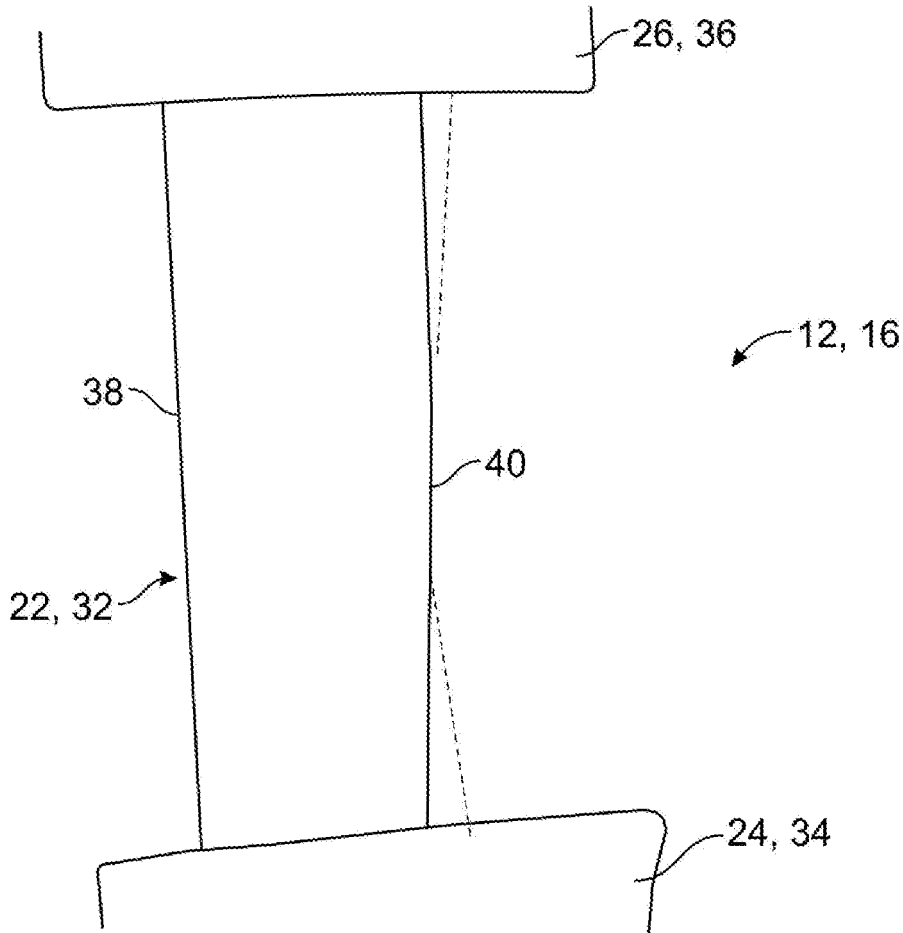
[Fig. 9]



[Fig. 10]



[Fig. 11]





**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 915858
FR 2213709

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	EP 3 176 561 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 7 juin 2017 (2017-06-07) * alinéa [0002] - alinéa [0005]; figures * * alinéa [0014] * -----	1, 2, 5-10	G01M13/00 F01D5/12 G01N3/00
X	EP 3 171 127 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 24 mai 2017 (2017-05-24) * alinéas [0004], [0013] - alinéa [0028]; figures *	1, 5-10	
A	DE 10 2008 037412 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 9 avril 2009 (2009-04-09) * alinéa [0016] - alinéa [0022]; figures * -----	1-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G01M
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
7 juillet 2023		Amroun, Sébastien	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention 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. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2213709 FA 915858**

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 **07-07-2023**
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
EP 3176561 A1	07-06-2017	CN 107014283 A	04-08-2017
		EP 3176561 A1	07-06-2017
		JP 7188863 B2	13-12-2022
		JP 2017096934 A	01-06-2017
		US 2017146334 A1	25-05-2017

EP 3171127 A1	24-05-2017	CN 106813566 A	09-06-2017
		EP 3171127 A1	24-05-2017
		JP 6849402 B2	24-03-2021
		JP 2017096942 A	01-06-2017
		US 2017146411 A1	25-05-2017

DE 102008037412 A1	09-04-2009	CH 697955 A2	15-04-2009
		CN 101403612 A	08-04-2009
		DE 102008037412 A1	09-04-2009
		JP 2009092063 A	30-04-2009
		US 7493809 B1	24-02-2009
