

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Procédé de détermination du fluage d'aubes.

②② Date de dépôt : 28.07.21.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

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

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 03.02.23 Bulletin 23/05.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 06.09.24 Bulletin 24/36.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : PATEL Vijeay, CLEMENT Alice,
Marie, MALLAT-DESMORTIERS Jean-Philippe et
MOUROT Thomas, Pierre, Etienne.

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

⑦④ Mandataire(s) : Ernest Gutmann - Yves Plasseraud.

FR 3 125 845 - B1



Description

Titre de l'invention : Procédé de détermination du fluage d'aubes

Domaine technique de l'invention

[0001] Le présent document concerne un procédé de détermination du fluage d'aubes et un aubage instrumenté pour déterminer le fluage d'aubes de turbine.

Etat de la technique antérieure

[0002] On connaît une turbomachine comprenant une turbine 10 telle que représentée sur la [Fig.1]. 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. La turbine 10 comprend une pluralité d'aubes de stator 24 reliées à un carter 20 fixe et une pluralité d'aubes mobiles 26 reliées à un disque rotor 12 rotatif autour d'un axe longitudinal de rotation A-A. Le disque rotor 12 peut être configuré pour entraîner l'arbre de soufflante. Une aube mobile 100 est représentée sur la [Fig.2] et une partie d'une rangée annulaire d'aubes de stator 200 est représentée sur la [Fig.3]. L'aube 100 comprend une pale 102 s'étendant entre un talon 104 et un pied 106. Le talon 104 est prévu pour être agencé radialement vers l'extérieur par rapport à l'axe longitudinal. Le talon 104 présente des léchettes 108 configurées pour coopérer avec des garnitures abradables de la rangée de stator 200 en regard de l'aube mobile 100 pour assurer l'étanchéité dans la turbine 10. Le pied 106 est prévu pour être agencé radialement vers l'intérieur et présente un bulbe configuré pour s'insérer dans un logement correspondant dans le disque rotor 12 de la turbine. La rangée de stator 200 comprend une pluralité de pales 202 s'étendant entre une plateforme radialement interne 204 et une plateforme radialement externe 206 par rapport à l'axe longitudinal. Les pales 102 et 202 subissent de fortes contraintes en partie dues aux températures auxquelles elles sont soumises, au-delà de 800°C en fonctionnement de la turbine 10. Dès lors, les pales peuvent présenter du fluage voire une rupture à tout moment du fonctionnement de la turbine. Il est important pour assurer la sécurité de surveiller le fluage des pales.

[0003] On connaît les modèles numériques de simulation du fluage des pales qui permettent de déterminer théoriquement une durée de vie des pales. Cependant, l'estimation de la durée de vie ne correspond pas à la durée de vie réelle des pales, et par extension de la turbine, en raison des conservatismes intégrés dans l'approche par calcul. Pour remédier à cela, des endoscopies peuvent être réalisées lors d'essais pour vérifier qu'il n'y a pas d'apparition de criques initiées par le fluage dans les aubes. Néanmoins, cela ne permet pas de prédire l'apparition du fluage, notamment le fluage tertiaire, an-

nonciateur de la rupture de la pale. Le fluage tertiaire correspond à une rupture intergranulaire par décohésion des joints de grains qui va entraîner la striction et l'apparition de porosités dans le matériau. Ce stade est très court et il n'existe pas aujourd'hui de moyens simples et précis permettant de savoir si la pale est proche d'atteindre ce stade.

[0004] Le présent document vise à remédier à ces inconvénients.

Résumé de l'invention

[0005] Pour cela, le présent document propose un aubage instrumenté, par exemple une aube de turbine, comprenant une pale instrumentée s'étendant entre une plateforme radialement interne et une plateforme radialement externe, ladite aube instrumentée comprenant une tige s'étendant entre la plateforme interne et la plateforme externe et réalisée dans un matériau présentant une résistance au fluage supérieure à la résistance au fluage du matériau de ladite aube, la tige étant agencée dans le prolongement amont, ou aval, du bord d'attaque, respectivement du bord de fuite de ladite pale instrumentée.

[0006] Le matériau de la tige présente une résistance au fluage supérieure à la résistance au fluage de l'aube à la température usuelle de fonctionnement de la turbine comprenant l'aubage instrumenté, qui est de l'ordre 1000°C. Ainsi, la tige ne se déforme pas lorsque la pale se déforme en fonctionnement de la turbine. La tige forme ainsi une référence de mesure robuste dans le temps par rapport à la pale et permet de distinguer le fluage de la pale de façon simple par inspection par endoscopie de la turbine. En effet, il est possible de mesurer le fluage en visualisant l'aubage instrumenté et en comparant la tige avec la pale instrumentée par exemple en mesurant la distance entre un point de la tige et une des plateformes.

[0007] Le bord d'attaque, et respectivement le bord de fuite, de la pale peuvent être déterminés par rapport à une direction d'un flux d'air traversant la pale, le bord d'attaque étant traversé en premier par le flux d'air.

[0008] La direction radiale correspond à la direction selon laquelle s'étend la pale lorsque celle-ci est montée sur un disque de rotor, relativement à l'axe longitudinal de rotation dudit rotor.

[0009] La tige peut être réalisée dans un matériau qui résiste au fluage pour des températures supérieures à la température à laquelle peut être soumise l'aubage instrumenté. Par exemple, la tige peut être réalisée dans un matériau qui résiste au fluage à une température de 1200°C.

[0010] La tige peut être réalisée en céramique.

[0011] Le fluage correspond à la déformation dans le temps d'un matériau soumis à une contrainte constante et une température donnée et peut aboutir à la rupture.

[0012] La tige peut comprendre un premier couple d'indicateurs agencé du côté d'une

première extrémité de la tige et un second couple d'indicateurs agencé du côté d'une seconde extrémité de la tige opposée à la première extrémité.

- [0013] Chaque indicateur peut être une demi-sphère en céramique, collée ou soudée à la tige.
- [0014] La tige peut être agencée parallèlement au bord de fuite ou au bord d'attaque de la pale.
- [0015] La pale instrumentée peut être une pale d'aube mobile montée sur un disque rotor de la turbine, la plateforme radialement interne étant formée par un pied de l'aube et la plateforme radialement externe étant formée par un talon de l'aube.
- [0016] La pale instrumentée peut être une pale de stator.
- [0017] Le présent document propose aussi un procédé de contrôle non destructif d'aubages montés dans une turbine d'axe longitudinal dans une turbomachine, les aubages comprenant un aubage instrumenté telle que précité, le procédé comprenant :
- [0018] monter un endoscope dans la turbomachine de sorte à ce que l'extrémité distale de l'endoscope soit agencée en vis-à-vis longitudinal de la tige,
- [0019] capturer au moins une image comportant au moins une partie de la tige et au moins une partie de la pale instrumentée,
- [0020] déterminer une déformée de la pale instrumentée à partir de ladite au moins une image.
- [0021] Le procédé permet de suivre la déformation de la pale de façon simple et précise. Notamment, le procédé permet de déterminer le fluage des aubes dans un environnement encombré sans nécessiter un recul de l'endoscope pour capter toute la pale ou un endoscope avec une profondeur du champ visuel étendue ce qui induit des distorsions d'images. De plus, le procédé permet de suivre le fluage d'aubes sans démonter la turbine.
- [0022] L'endoscope peut être installé à demeure dans la turbine, ce qui permet un suivi en temps réel du fluage des aubes de la turbine.
- [0023] La tige peut s'étendre suivant une direction radiale perpendiculaire à l'axe longitudinal.
- [0024] La tige peut être agencée en aval du bord de fuite ou en amont du bord d'attaque par rapport à une direction de circulation du flux d'air dans la turbine.
- [0025] En particulier, la tige peut être agencée entre le bord d'attaque, ou le bord de fuite, et l'endoscope.
- [0026] La tige peut être agencée à une distance du bord d'attaque ou du bord de fuite de sorte qu'au moins une partie de la tige et au moins une partie de la pale instrumentée peut être captée par l'endoscope.
- [0027] L'image peut comprendre la plateforme radialement externe et/ou la plateforme radialement interne, et la totalité de la tige, ce qui permet de [préciser].

- [0028] Le matériau de la tige peut présenter une résistance au fluage telle que la tige est indéformable aux températures de déformation de la pale en fonctionnement.
- [0029] Le matériau de la tige peut présenter une résistance au fluage telle que la tige est indéformable à une température d'environ 1200°C.
- [0030] La tige peut être en céramique.
- [0031] La pale instrumentée peut être une aube déterminée comme celle étant la plus critique au fluage par un calcul numérique, par exemple par une modélisation d'éléments finis.
- [0032] La déformée peut être déterminée en mesurant la distance entre un point de mesure de la tige et une des plateformes interne et externe portant la pale instrumentée.
- [0033] La tige peut comporter au moins un indicateur formant le point de mesure et qui réalisé dans le même matériau que la tige. Un tel indicateur peut se présenter sous la forme d'une demi-sphère par exemple en céramique.
- [0034] La tige peut comprendre un premier couple d'indicateurs agencé du côté de la plateforme radialement interne et un second couple d'indicateurs agencé du côté de la plateforme radialement externe.
- [0035] La distance entre les indicateurs de chacun du premier couple d'indicateurs et du second couple d'indicateurs peut être configurée pour permettre la visualisation par endoscopie et peut être inférieure ou égale à 1 cm.
- [0036] L'étape de détermination de la déformée peut comprendre :
- [0037] - mesurer une distance inter indicateurs entre chaque couple d'indicateurs,
- [0038] - mesurer une première distance entre un des indicateurs du premier couple et un premier point de mesure de la pale instrumentée,
- [0039] - mesurer une seconde distance entre un des indicateurs du second couple et un second point de mesure de la pale instrumentée, et
- [0040] - déterminer la déformée de la pale instrumentée en fonction des distances inter-indicateurs , de la première distance et de la seconde distance.
- [0041] Le second point de mesure peut être l'extrémité de la pale de la pale instrumentée reliée à la plateforme radialement externe et le premier point de mesure peut être l'extrémité de la pale de la pale instrumentée reliée à la plateforme radialement interne.
- [0042] Le procédé peut comprendre en outre la mesure d'une première distance de référence, respectivement une seconde distance de référence, entre l'un des indicateurs du premier couple, respectivement du second couple, et le premier point de mesure, respectivement le second point de mesure, de la pale instrumentée, préalablement à la déformation de la pale instrumentée. La mesure de la première distance de référence et de la seconde distance de référence peut être réalisée une seule fois au début du procédé.
- [0043] La déformée de la pale instrumentée peut être déterminée par la formule suivante :

[0044] [Math.1]

$$\varepsilon = \frac{\frac{B_1 - B_1(t=0)}{A_1} - \frac{B_2 - B_2(t=0)}{A_2}}{L} + \frac{\frac{B_2 - B_2(t=0)}{A_2}}{L}$$

[0045] avec A_1 et A_2 les distances inter indicateurs, B_1 la première distance et B_2 la seconde distance, L la longueur de la tige, $B_1(t=0)$ la première distance de référence, $B_2(t=0)$ la seconde distance de référence.

[0046] Chacun du premier point de mesure et du second point de mesure peut être formé par un indicateur fixé sur la pale instrumentée. Un tel indicateur peut se présenter sous la forme d'une demi-sphère, par exemple en céramique.

[0047] La tige peut être fixée à la plateforme interne et/ou à la plateforme externe par soudage ou collage ou toute autre moyen d'assemblage approprié.

[0048] Chaque indicateur peut se présenter sous la forme d'une demi-sphère et présenter une couleur distincte de la couleur de la pale et/ou des plateformes interne et externe et/ou de la tige.

[0049] La turbine peut être une turbine basse pression.

[0050] Le présent document concerne en outre un dispositif comportant un circuit de traitement pour la mise en œuvre du procédé tel que précité.

[0051] Le présent document concerne en outre un programme informatique comportant des instructions pour la mise en œuvre du procédé tel que précité, lorsque lesdites instructions sont exécutées par un processeur d'un circuit de traitement.

[0052] Le présent document propose encore un ensemble de détermination du fluage d'aubes de turbine dans une turbomachine d'axe longitudinal, l'ensemble comprenant :

- [0053] – l'aube instrumentée telle que précitée,
- un endoscope inséré dans la turbine et dont l'extrémité distale est agencée en vis-à-vis longitudinal de la tige instrumentée de sorte à visualiser au moins une partie de la tige et au moins une partie de la pale instrumentée,
- la tige étant agencée entre l'extrémité distale de l'endoscope et la pale suivant l'axe longitudinal, et
- des moyens de traitement configurés pour déterminer une déformée de la pale instrumentée à partir des mesures dudit endoscope.

Brève description des figures

[0054] [Fig.1] déjà décrite, représente schématiquement une vue partielle d'une turbine d'une turbomachine,

[0055] [Fig.2] déjà décrite, représente schématiquement une aube mobile de la turbine de la [Fig.1].

[0056] [Fig.3] déjà décrite, représente schématiquement une vue partielle d'une rangée de stator de la turbine de la [Fig.1].

- [0057] [Fig.4] représente schématiquement une vue partielle d'un stator équipé d'un premier exemple d'une pale instrumentée.
- [0058] [Fig.5] représente schématiquement une vue partielle d'un stator équipé d'un second exemple d'une pale instrumentée.
- [0059] [Fig.6] représente schématiquement une pale instrumentée du stator de la [Fig.5].
- [0060] [Fig.7] représente schématiquement une turbine comprenant le stator de la [Fig.4] ou de la [Fig.5].
- [0061] [Fig.8] représente un schéma bloc d'un exemple du procédé du présent document.
- [0062] [Fig.9] représente un bloc-diagramme schématique d'un circuit de traitement pour la mise en œuvre d'un exemple du procédé selon le présent exposé.

Description détaillée de l'invention

- [0063] En référence aux figures 4 à 7, un stator ou aubage fixe 300 peut être compris dans une turbine 500 de turbomachine, en particulier une turbine basse pression. La turbine 500 comprend une succession d'étages de stator 300 et 501 en alternance avec des rangées d'aubes mobiles 502 qui sont reliées à un disque rotor 503. . Le stator 300 comprend une pluralité de pales distribuées circonférentiellement autour d'un axe longitudinal de rotation de la turbine comprenant plusieurs aubages fixes 300. Chaque aubage comprend une pale 302 s'étendant entre une plateforme radialement interne 304 et une plateforme radialement externe 306 par rapport à l'axe longitudinal. La plateforme radialement externe 306 peut être reliée à un carter de la turbomachine.
- [0064] Chaque pale 302 présente un bord d'attaque 308 et un bord de fuite 310. Les pales 302 sont composées d'alliages métalliques en base nickel
- [0065] Les pales 302 subissent de fortes contraintes en partie dues aux températures auxquelles elles sont soumises, de l'ordre de 1000°C en fonctionnement de la turbine 10. Ceci induit le fluage voire la rupture des pales à tout moment du fonctionnement de la turbine. Pour surveiller le fluage des pales, le présent document propose un aubage instrumentée qui peut être agencée dans le stator 300.
- [0066] Selon un premier exemple de réalisation représenté à la [Fig.4], le stator 300 est équipée d'une pale instrumentée 312 associée à une tige 314.
- [0067] La tige 314 est agencée en vis-à-vis longitudinal du bord de fuite 310 d'une des pales 302. En particulier, la tige 314 est agencée en vis-à-vis longitudinal d'une pale déterminée comme étant la plus sensible au fluage par un calcul numérique par exemple par une modélisation d'éléments finis. La tige 314 est réalisée dans un présentant une résistance au fluage supérieure à la résistance au fluage du matériau des pales 302. La tige 314 peut être réalisée en céramique.
- [0068] Alternativement, la tige 314 peut être réalisée dans tout autre matériau qui résiste au fluage à une température de l'ordre 1200°C.

- [0069] La tige 314 s'étend radialement dans une direction perpendiculaire à l'axe longitudinal et est fixée à la plateforme externe 306.
- [0070] La tige 314 peut être fixée à la plateforme externe 306 par collage, soudage ou tout autre moyen d'assemblage approprié.
- [0071] La tige 314 présente une extrémité libre 315 à une distance ϵ de la plateforme interne 304.
- [0072] La tige peut être agencée dans le prolongement amont du bord d'attaque 308.
- [0073] Le fluage de la pale instrumentée 312 est déterminé en mesurant les variations de la distance ϵ . Cette mesure peut être réalisée en capturant des images de la pale instrumentée 312. Par exemple, une image de référence est acquise avant la déformation de la pale instrumentée 312. Les variations de la distance ϵ sont ensuite déterminées à partir d'images acquises en cours de fonctionnement de la turbine ou après une utilisation de la turbine ou à des durées déterminées dans le temps.
- [0074] Inversement, la tige 314 peut être fixée à la plateforme interne 304 et une distance est mesurée entre l'extrémité de la tige 314 du côté de la plateforme externe 306 et cette dernière.
- [0075] Comme la tige 314 ne se déforme pas pour les températures auxquelles se déforment les pales 302, elle n'est pas impactée dans le temps. L'estimation du fluage par comparaison de la tige 314 et de la pale instrumentée 312 est ainsi précise durablement dans le temps.
- [0076] La tige 314 peut comprendre des graduations et la distance ϵ peut être mesurée entre une des graduations et la plateforme interne 304.
- [0077] Selon un second exemple de réalisation représenté aux figures 5 et 6, l'aubage fixe 300 est équipé d'une pale instrumentée 312 comprenant une tige 316.
- [0078] La tige 316 est agencée de façon similaire à la tige 314. A la différence, la tige 316 comprend un premier couple d'indicateurs 318 agencé du côté de la plateforme externe 306 et un second couple d'indicateurs 320 agencé du côté de la plateforme interne 304. Chaque indicateur est formé par une demi-sphère fixée à la tige 316, par exemple ayant une couleur distincte de la couleur de la tige 316 et des pales 302.
- [0079] Les indicateurs sont réalisés dans le même matériau que la tige 316. Alternativement, les indicateurs peuvent être réalisés dans un matériau différent de celui de la tige 316 mais présentant une résistance au fluage supérieure à celle des pales 302.
- [0080] Les indicateurs du premier couple d'indicateurs 318 sont agencés à une distance inter indicateurs A_1 qui peut être de l'ordre de 1cm, et sont agencés à proximité de la plateforme radialement externe 306.
- [0081] Les indicateurs du second couple d'indicateurs 320 sont agencés à une distance inter indicateurs A_2 qui peut être de l'ordre de 1cm, et sont agencés à proximité de la plateforme radialement interne 304.

- [0082] En référence à la [Fig.6], le procédé 400 est un procédé de détermination du fluage de pale du stator 300 comprenant la pale instrumentée 312 avec la tige 318 des figures 5 et 6. Le procédé 400 est un procédé non invasif et ne nécessite pas le démontage de la turbine ou du stator pour suivre le fluage des pales.
- [0083] La tige 316 est reliée à la plateforme radialement interne 304 et à la plateforme radialement externe 406.
- [0084] Le procédé 400 comprend une étape 402 pour monter un endoscope 506 dans la turbine 500 de sorte à ce que l'extrémité distale 508 comprenant des moyens de capture d'images de l'endoscope soit agencée en vis-à-vis longitudinal de la tige 318. Par exemple, l'endoscope 506 peut être inséré dans la turbine 500 à travers un logement 505 prévu dans un carter 504 fixe de la turbine 500 entourant les stator 300 et 501 et les rangées d'aubes mobiles 502. L'endoscope 506 peut être monté de sorte que la tige 318 se trouve entre le bord de fuite 310 ou le bord d'attaque 308 et l'extrémité distale 508 de l'endoscope 506. L'endoscope 506 peut être installé à demeure dans la turbine. L'étape 402 est itérée une seule fois dans le procédé 400.
- [0085] Le procédé 400 comprend une étape 404 pour capturer au moins une image comportant au moins une partie de la tige et au moins une partie de la pale instrumentée 312.
- [0086] Le procédé 400 comprend ensuite une étape 406 pour déterminer une déformée de la pale instrumentée 312 à partir de ladite au moins une image.
- [0087] L'étape 406 comprend les étapes suivantes :
- [0088] – mesurer les distances inter-indicateurs A_1 , A_2 entre les couples d'indicateurs 318, 320,
- mesurer une première distance B_1 entre l'indicateur du premier couple 318, le plus proche de l'extrémité de la tige 318 et l'extrémité de la pale 302 au niveau de la plateforme radialement externe 306,
- mesurer une seconde distance B_2 entre l'indicateur du second couple 320, le plus proche de l'extrémité de la tige 318 et l'extrémité de la pale 302 au niveau de la plateforme radialement interne 304, et
- déterminer la déformée ε_{tot} de la pale instrumentée 312 en fonction des distances inter indicateurs A_1 et A_2 , de la première distance B_1 et de la seconde distance B_2 .
- [0089] Le procédé comprend une étape préalable de détermination d'une première distance de référence $B_1(t=0)$ avant la déformation de la pale instrumentée 312 entre un des indicateur du premier couple 318, par exemple l'indicateur le plus proche de l'extrémité 322 de la tige 318, et l'extrémité 322 de la pale instrumentée 312 au niveau de la plateforme radialement externe 306.
- [0090] Le procédé comprend une étape préalable de détermination d'une seconde distance

de référence $B_2(t = 0)$ entre un des indicateurs du second couple 320, par exemple l'indicateur le plus proche de l'extrémité 324 de la tige 318, et l'extrémité 324 de la pale 302 au niveau de la plateforme radialement interne 304.

[0091] La déformée ϵ_{tot} de la pale instrumentée 312 est déterminée par la formule suivante :

[0092] [Math.2]

$$\epsilon_{tot} = \frac{\frac{B_1 - B_1(t = 0)}{A_1} - \frac{B_2 - B_2(t = 0)}{A_2}}{L} + \frac{B_2 - B_2(t = 0)}{L}$$

[0093] avec A_1 et A_2 les distances inter indicateurs, B_1 la première distance et B_2 la seconde distance, L la longueur de la tige, $B_1(t = 0)$ la première distance de référence, $B_2(t = 0)$ la seconde distance de référence.

[0094] En référence à la [Fig.8], le dispositif 1000 comprend un espace 1002 de stockage, par exemple une mémoire MEM, et une unité 1004 de traitement équipée par exemple d'un processeur PROC. L'espace 1002 de stockage est par exemple une mémoire non volatile (ROM ou Flash, par exemple), et peut constituer un support d'enregistrement, ce support d'enregistrement pouvant en outre comprendre un programme d'ordinateur.

[0095] L'unité 1004 de traitement, qui peut être pilotée par un programme, est configurée pour mettre en œuvre le procédé tel que décrit en relation avec la [Fig.7].

[0096] Le dispositif 1000 comprend en outre un module de communication permettant audit dispositif de se connecter à un réseau pour échanger des données avec d'autres dispositifs. Par exemple, le module de communication peut être une interface réseau Wifi ou Ethernet, ou encore un module de communication Bluetooth.

[0097] Le module de communication du dispositif 1000 comprend un module 1006 de réception de données, par exemple un récepteur IN, et un module 1008 d'émission de données, par exemple un émetteur OUT.

[0098] Le module 1006 est configuré pour recevoir des données de l'endoscope. Le module 1008 est configuré pour retourner une déformée de la pale.

[0099] L'espace 1002 de stockage, qui peut être sécurisé, est configuré pour enregistrer et stocker toute donnée lue par le module 1006, traitée par l'unité 1004 et/ou envoyée par le module 1008.

[0100] À l'initialisation, les instructions d'un programme pilotant l'unité 1004 de traitement, sont par exemple chargées dans une mémoire vive (RAM, par exemple) non représentée que comprend comprise dans le dispositif 1000, avant d'être exécutées par le processeur de l'unité 1004 de traitement.

Revendications

- [Revendication 1] Aubage instrumenté , par exemple une aube de turbine, comprenant une pale instrumentée (312) s'étendant entre une plateforme radialement interne (304) et une plateforme radialement externe (306), ledit aubage instrumenté comprenant une tige (314,316) s'étendant entre la plateforme interne et la plateforme externe et réalisée dans un matériau présentant une résistance au fluage supérieure à la résistance au fluage du matériau dudit aubage, la tige étant agencée dans le prolongement amont, ou aval, du bord d'attaque (308), respectivement du bord de fuite (310) de ladite pale instrumentée.
- [Revendication 2] Aubage selon la revendication précédente, dans lequel la tige (314,316) est en céramique.
- [Revendication 3] Aubage selon la revendication 1 ou 2, dans laquelle la tige (316) comprend un premier couple d'indicateurs (318) agencé du côté d'une première extrémité de la tige et un second couple d'indicateurs (320) agencé du côté d'une seconde extrémité de la tige opposée à la première extrémité.
- [Revendication 4] Aubage selon la revendication précédente, dans laquelle chaque indicateur est une demi-sphère réalisée dans le même matériau que celui de la tige.
- [Revendication 5] Procédé (400) de contrôle non destructif d'aubages montées dans une turbine (500) d'axe longitudinal dans une turbomachine, les aubages comprenant un aubage instrumenté (312) selon l'une des revendications précédentes, le procédé comprenant :
monter (402) un endoscope (506) dans la turbomachine de sorte à ce que l'extrémité distale (508) de l'endoscope soit agencée en vis-à-vis longitudinal de la tige (314,316) de l'aubage instrumenté,
capturer (404) au moins une image comportant au moins une partie de la tige et au moins une partie de la pale instrumentée,
déterminer (406) une déformée de la pale instrumentée à partir de ladite au moins une image.
- [Revendication 6] Procédé (400) selon la revendication précédente, dans lequel le matériau de la tige présente une résistance au fluage telle que la tige est indéformable aux températures de déformation de la pale instrumentée en fonctionnement de la turbine (500).
- [Revendication 7] Procédé (400) selon l'une des revendications 5 ou 6, dans lequel la déformée est déterminée en mesurant la distance entre un point de

mesure de la tige et une des plateformes (304,306) portant la pale instrumentée (312).

[Revendication 8]

Procédé (400) selon l'une des revendications 5 à 7, dans lequel la tige (316) est selon la revendication 3 et la seconde extrémité de la tige est du côté de la plateforme radialement externe et la première extrémité de la tige est du côté de la plateforme radialement interne, par rapport à l'axe longitudinal, l'étape de détermination de la déformée comprenant : mesurer une distance inter indicateurs entre chaque couple d'indicateurs, mesurer une première distance entre un des indicateurs du premier couple et un premier point de mesure de la pale instrumentée, mesurer une seconde distance entre un des indicateurs du second couple et un second point de mesure de la pale instrumentée, et déterminer la déformée de la pale instrumentée en fonction des distances inter indicateurs, de la première distance et de la seconde distance.

[Revendication 9]

Procédé (400) selon la revendication précédente, dans lequel le second point de mesure est l'extrémité de la pale instrumentée reliée à la plateforme radialement externe (306) et le premier point de mesure est l'extrémité de la pale instrumentée reliée à la plateforme radialement interne (304), le procédé comprenant en outre la mesure d'une première distance de référence, respectivement une seconde distance de référence, entre l'un des indicateurs du premier couple, respectivement du second couple, et le premier point de mesure, respectivement le second point de mesure, de l'aubage instrumenté, préalablement à la déformation de l'aubage instrumenté, la déformée de la pale instrumentée étant déterminée par la formule suivante :

$$\varepsilon = \frac{\frac{B_1}{A_1} - \frac{B_1(t=0)}{A_1}}{L} + \frac{\frac{B_2}{A_2} - \frac{B_2(t=0)}{A_2}}{L}$$

avec A_1 et A_2 les distances inter indicateurs, B_1 la première distance et B_2 la seconde distance, L la longueur de la tige, $B_1(t=0)$ la première distance de référence, $B_2(t=0)$ la seconde distance de référence.

[Revendication 10]

Ensemble de détermination du fluage d'aubes de turbine (500) dans une turbomachine d'axe longitudinal, l'ensemble comprenant l'aubage instrumenté (312) selon l'une des revendications 1 à 4, un endoscope (506) inséré dans la turbine (500) et dont l'extrémité distale (508) est agencée en vis-à-vis longitudinal de la tige (314,316) de l'aubage instrumenté de sorte à visualiser au moins une partie de la tige

et au moins une partie de la pale instrumenté (312),
la tige étant agencée entre l'extrémité distale de l'endoscope (506) et la
pale instrumentée (312) suivant l'axe longitudinal, et
des moyens de traitement configurés pour déterminer une déformée de
la pale instrumenté à partir des mesures dudit endoscope (506).

[Fig. 1]

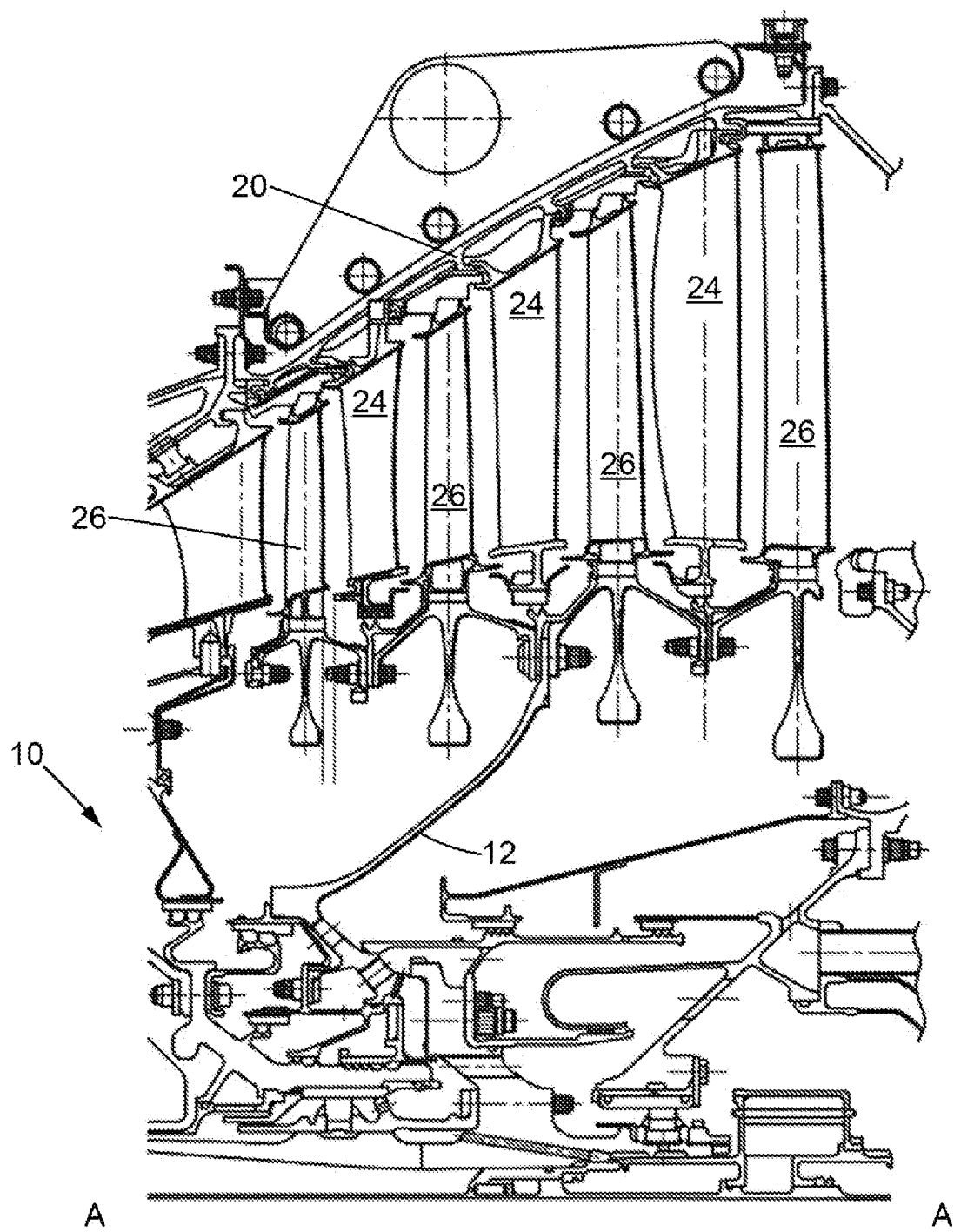
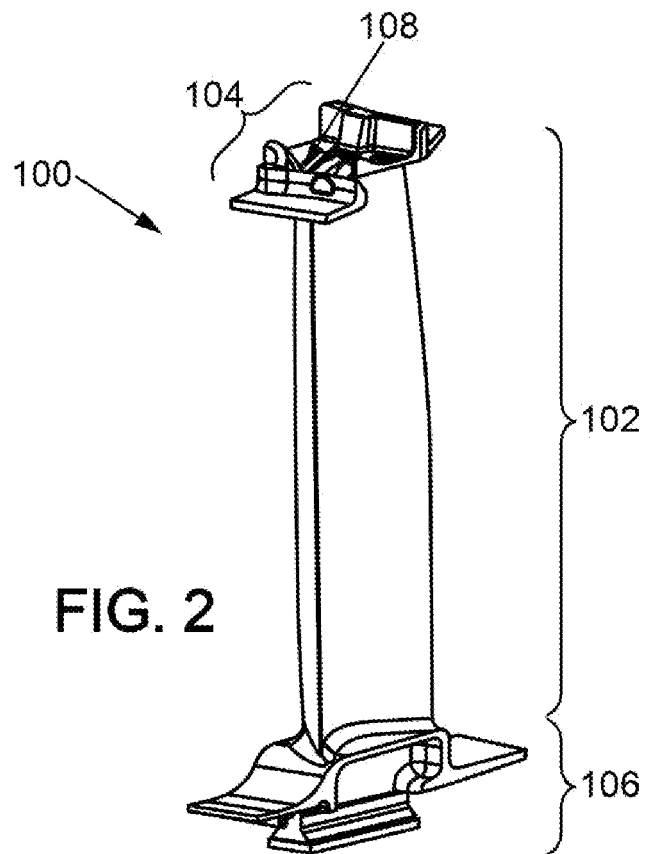
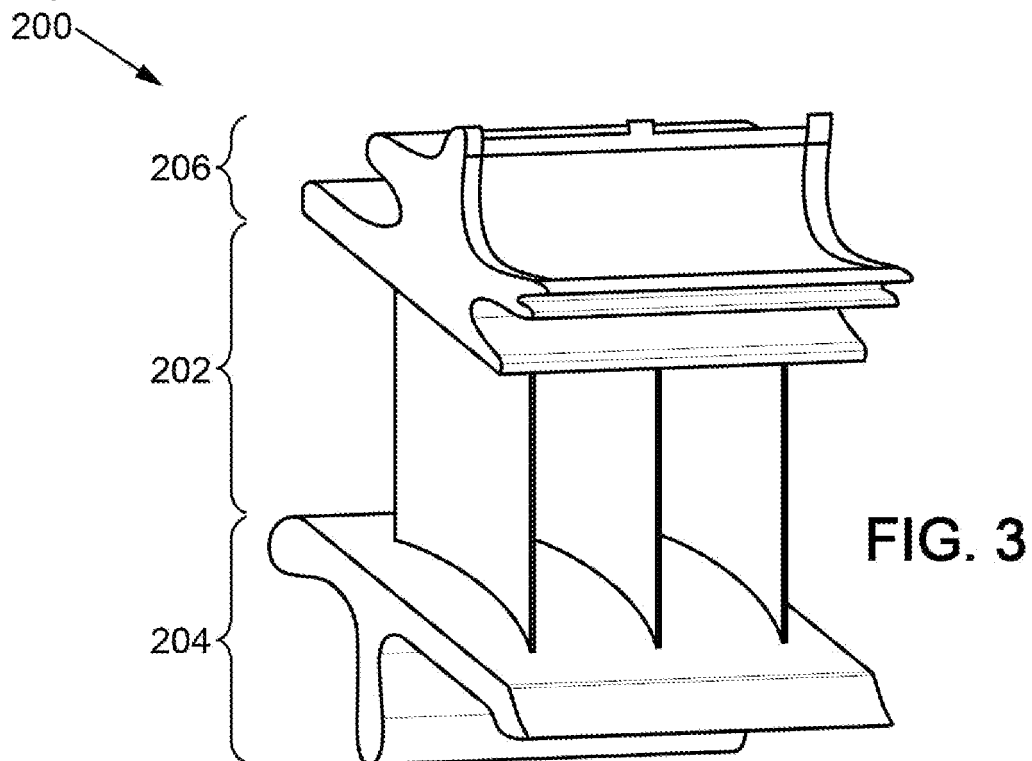


FIG. 1

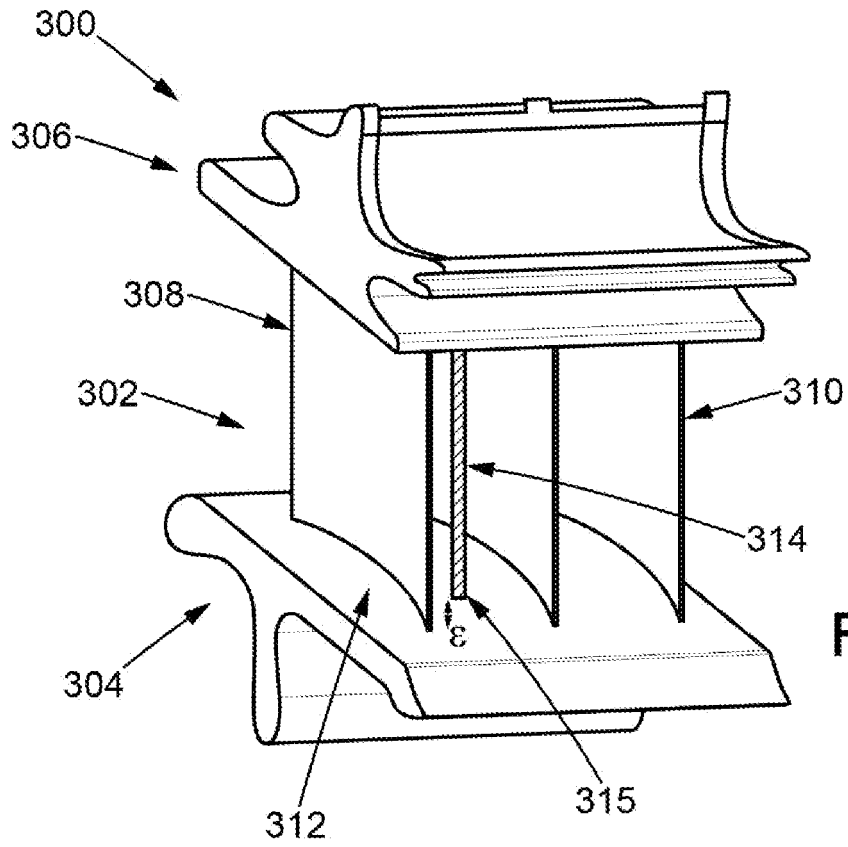
[Fig. 2]



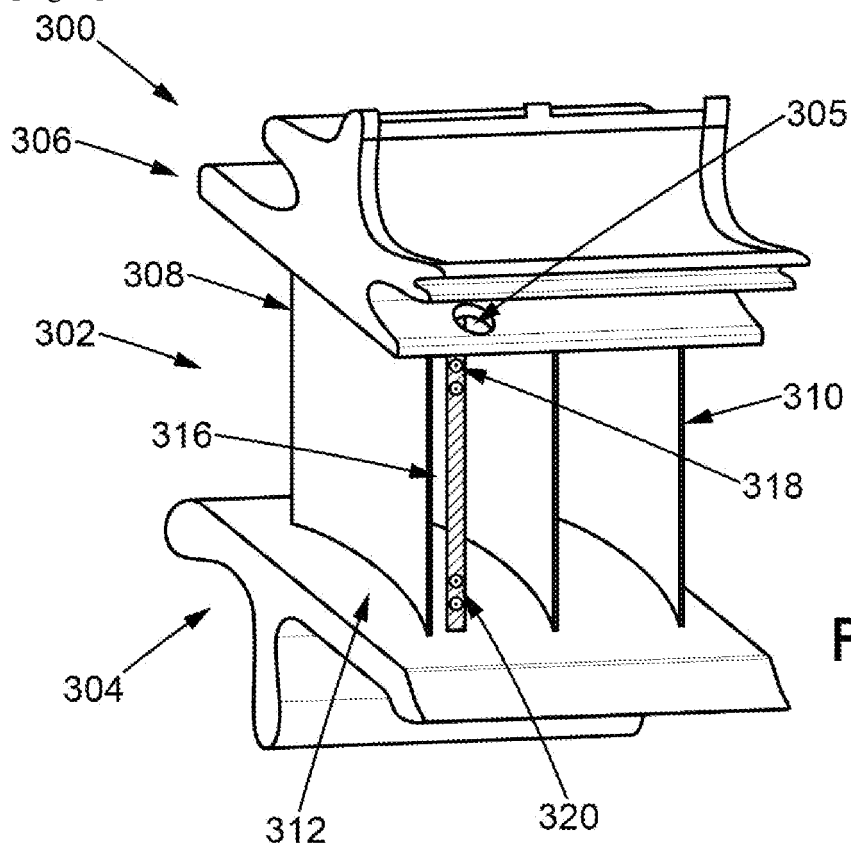
[Fig. 3]



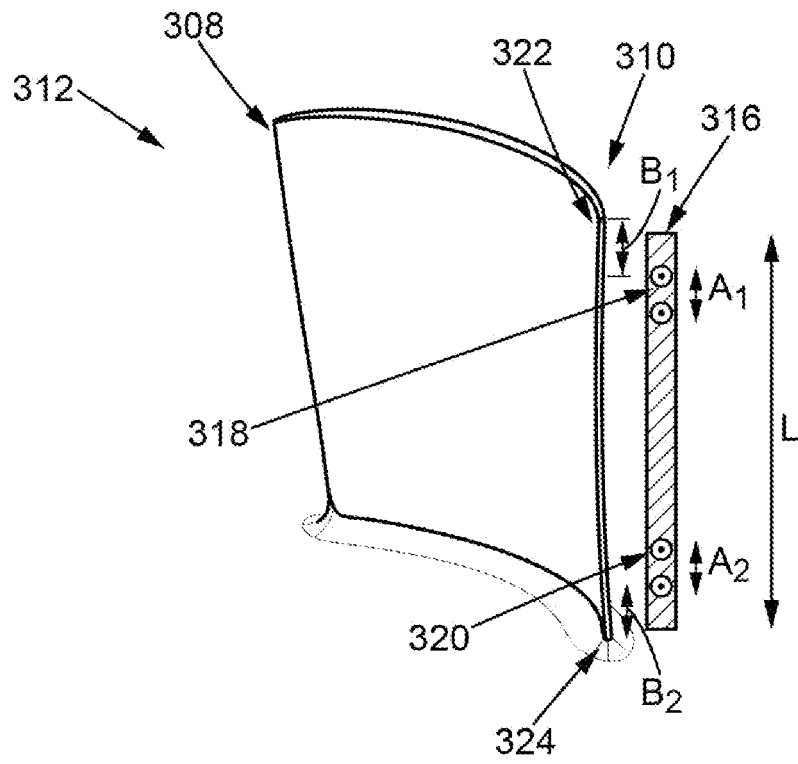
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]

**FIG. 6**

[Fig. 7]

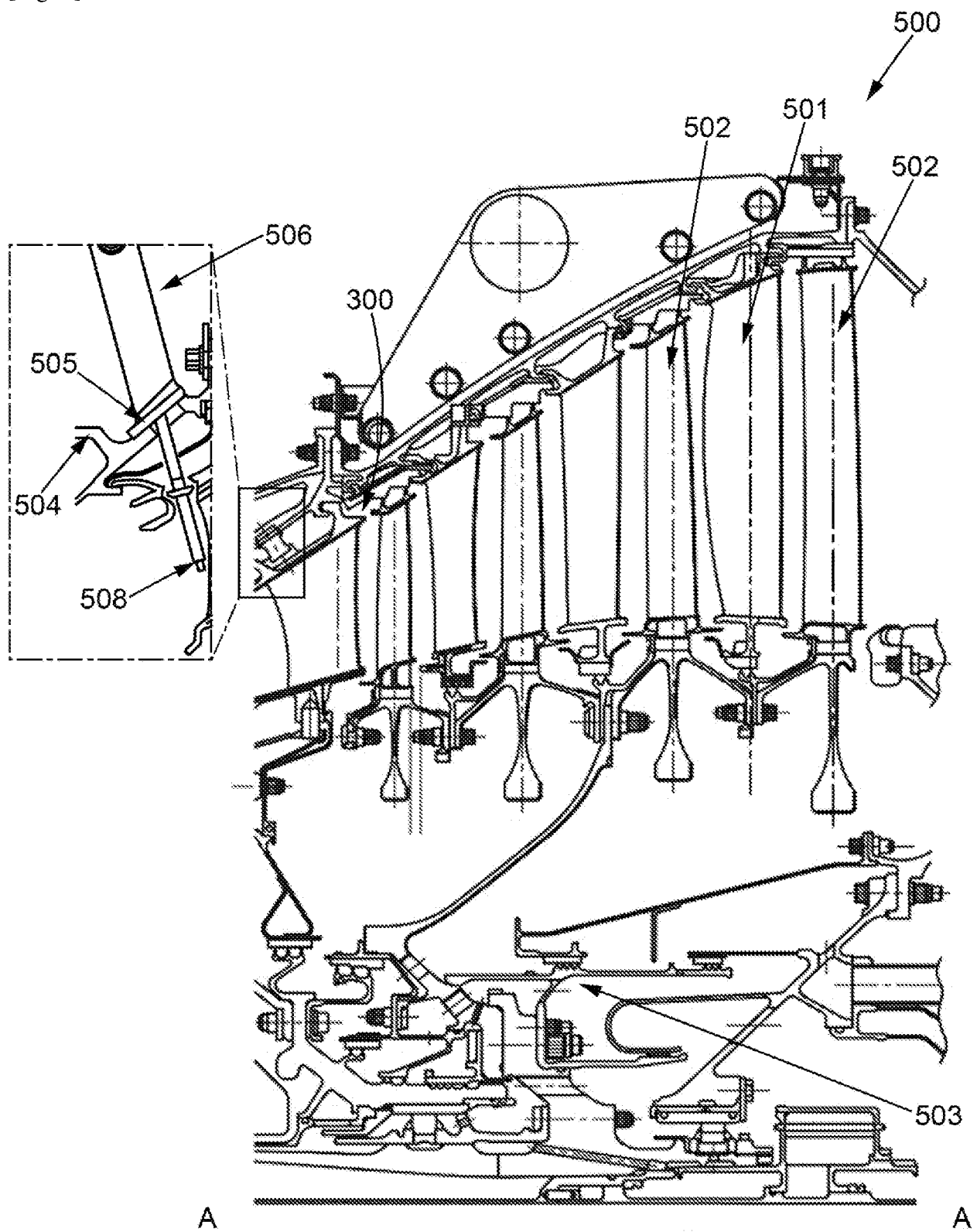
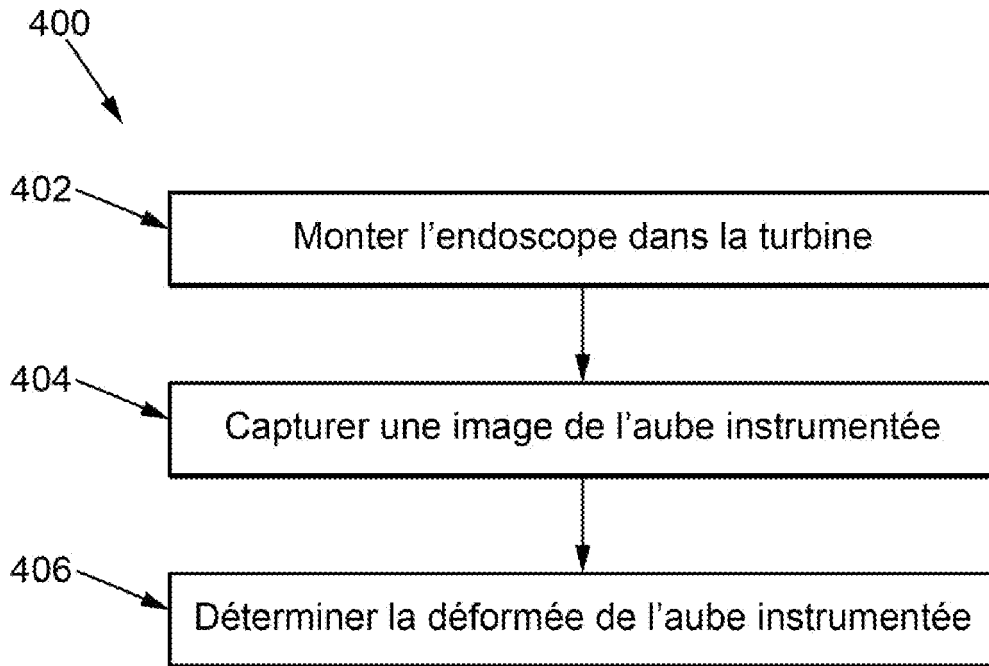
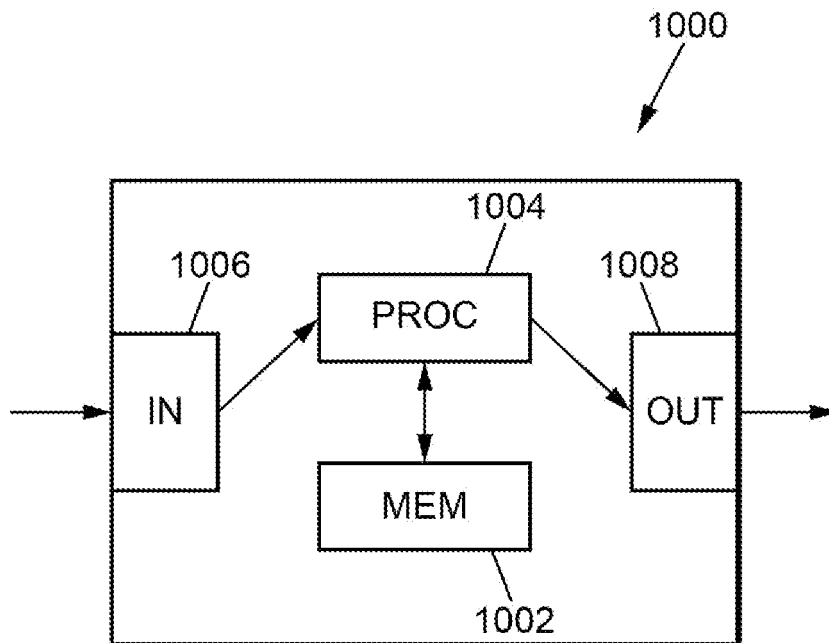


FIG. 7

[Fig. 8]

**FIG. 8**

[Fig. 9]

**FIG. 9**

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 (nouveau) 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 7 552 647 B2 (MITSUBISHI HEAVY IND LTD
[JP]) 30 juin 2009 (2009-06-30)

US 2014/052410 A1 (TRALSHAWALA NILESH [US]
ET AL) 20 février 2014 (2014-02-20)

US 2017/138820 A1 (NICKLES BLAKE ASHTON
[US] ET AL) 18 mai 2017 (2017-05-18)

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

NEANT

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

NEANT