

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

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

**3 004 748**

②1 N° d'enregistrement national : **13 53574**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **F 01 D 5/28** (2013.01), **F 01 D 9/02**, **F 04 D 29/38**, **29/54**, **B 29 C 70/24**

⑫

**DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

**A1**

②2 Date de dépôt : 19.04.13.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 24.10.14 Bulletin 14/43.

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) : **SNECMA Société anonyme** — FR.

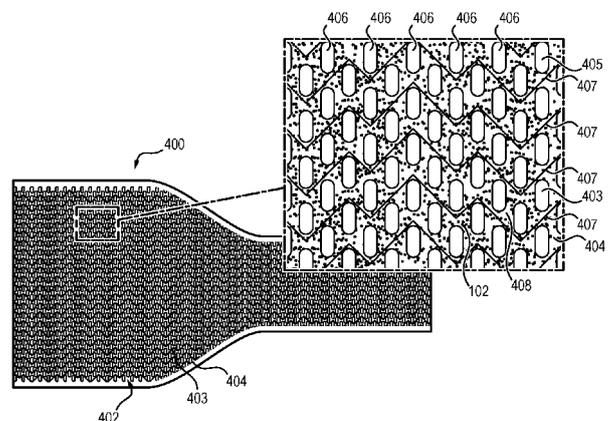
⑦2 Inventeur(s) : **BENSE WILLIAM** et **GEREZ VALERIO**.

⑦3 Titulaire(s) : **SNECMA Société anonyme**.

⑦4 Mandataire(s) : **CABINET REGIMBEAU Société civile**.

⑤4 **AUBE OU PALE DE MOTEUR D'AERONEF ET PROCEDE ET SYSTEME DE CONTROLE DE DEFAUTS DANS DES COMPOSITES PAR DES PARTICULES AYANT DES PROPRIETES FERROMAGNETIQUES.**

⑤7 L'invention concerne une aube ou pale (400) pour moteur d'aéronef comprenant un corps (402) en matériau composite, le matériau composite étant constitué de:  
- une structure de renfort (403) comprenant des fibres (405) tissées en trois dimensions, et  
- une matrice de rigidification (404) dans laquelle la structure de renfort (403) est noyée, la matrice de rigidification (404) comprenant un liant (408) maintenant les fibres (405) entre elles et des particules magnétostrictives ou piezomagnétiques (102) dispersées dans le liant (408).



**FR 3 004 748 - A1**



## DOMAINE DE L'INVENTION

L'invention concerne de manière générale le domaine du contrôle de  
5 l'état des pièces d'un moteur d'aéronef, et plus particulièrement la détection  
de défauts dans des aubes ou des pales de ce moteur.

## ETAT DE LA TECHNIQUE

Les matériaux composites sont actuellement très utilisés dans les  
10 domaines aérospatial et aéronautique où les gains de masse sont  
stratégiques. Différents types de matériaux composites peuvent être utilisés  
en fonction de leurs performances mécaniques, leur complexité de mise en  
œuvre et de dimensionnement et du coût associé.

Pour former des pièces de moteurs, il est notamment connu d'utiliser  
15 des matériaux composites incorporant une structure de renfort en fibres  
tissés en deux ou trois dimensions. Ces matériaux composites sont obtenus  
en réalisant d'abord une ébauche fibreuse par tissage en deux ou trois  
dimensions, puis en injectant une résine dans l'ébauche fibreuse placée  
dans un moule. La résine est ensuite polymérisée de manière à former une  
20 matrice de rigidification.

Les matériaux composites obtenus à partir d'une structure de renfort  
tissée en deux dimensions se présentent sous forme de couches de faible  
épaisseur ayant une faible résistance à la compression. Afin de former une  
pièce de moteur, il est par conséquent utile de superposer plusieurs  
25 couches. A cet effet, il est possible de coller ensemble plusieurs couches de  
faible épaisseur ou de réaliser plusieurs ébauches fibreuses par tissage  
bidimensionnel et de les assembler ensuite par couture, avant une  
imprégnation par la résine.

L'utilisation d'une structure de renfort tissée en trois dimensions  
30 permet de former une pièce de moteur à partir d'une seule ébauche fibreuse,  
sans qu'il soit nécessaire d'empiler des couches, comme cela est par

exemple décrit dans le document FR2861143. Les matériaux composites incorporant une structure de renfort tissée en trois dimensions présentent généralement une meilleure tenue à l'impact que ceux qui incorporent des structures de renfort tissées en deux dimensions. Ces matériaux présentent  
5 en outre une densité restreinte.

Cependant, dans un moteur d'aéronef en fonctionnement, les aubes et les pales peuvent être soumises à de fortes variations de température et de pression ainsi qu'à d'importantes sollicitations mécaniques, par exemple dues à des chocs, qui peuvent entraîner l'apparition de défauts dans la  
10 structure du matériau composite. Ces défauts peuvent rester invisibles à la surface des aubes et des pales, ce qui les rend indétectables lors d'un simple contrôle visuel.

Divers procédés de contrôle non destructif ont été mis au point afin de détecter l'apparition de défauts et d'alerter quant au risque de diminution des  
15 performances du moteur.

Les documents FR2947633, FR2815123 et FR2946752 décrivent respectivement de tels procédés de contrôle par courants de Foucault, par ultrasons et par magnétoscopie. Ces procédés présentent l'inconvénient de nécessiter lors du contrôle des aubes l'installation d'un appareillage  
20 complexe, notamment une source de rayonnement, et l'intervention sur place d'un technicien spécialisé.

Le document US20120070668 décrit un procédé de contrôle d'une structure multicouches comprenant une première couche composite, une deuxième couche composite et une couche de colle interposée entre les  
25 deux couches composites, la couche de colle contenant des particules magnétiques sensibles aux contraintes mécaniques. Des capteurs positionnés en surface sur la structure permettent de mesurer les contraintes subies par les particules magnétiques. L'apparition de défauts dans la structure multicouche se traduit par une modification du champ magnétique  
30 généré par les particules et mesuré par les capteurs.

Dans le cas d'une aube ou une pale de moteur d'aéronef, la présence de capteurs modifie l'écoulement de l'air le long de la surface de la pièce et est par conséquent susceptible de dégrader les performances aérodynamiques du moteur.

5 De plus, un tel procédé de contrôle ne peut être mis en œuvre que sur des structures multicouches comprenant des couches de colle.

#### PRESENTATION DE L'INVENTION

10 Un but de l'invention est de pouvoir contrôler l'état d'une aube ou d'une pale formée à partir d'un matériau incorporant une structure de renfort tissée en trois dimensions.

Ce but est atteint dans le cadre de la présente invention, selon un premier aspect grâce à une aube ou pale pour moteur d'aéronef comprenant  
15 un corps en matériau composite, le matériau composite étant constitué de :

- une structure de renfort comprenant des fibres tissées en trois dimensions, et
- une matrice de rigidification dans laquelle la structure de renfort est noyée, la matrice de rigidification comprenant un liant maintenant les fibres entre  
20 elles et des particules ayant des propriétés magnétostrictives ou piezomagnétiques dispersées dans le liant.

Comme les particules magnétostrictives ou piezomagnétiques sont dispersées dans le liant, l'utilisation d'une couche de colle n'est pas  
25 nécessaire. De plus, les particules sont réparties dans l'ensemble du corps de l'aube ou pale, ce qui permet de détecter l'apparition de défauts à n'importe quel endroit du corps.

En outre, les particules magnétostrictives ou piezomagnétiques émettent un champ magnétique qui peut être détecté par un ou plusieurs capteurs disposés à distance de l'aube ou pale (par exemple sur une partie  
30 fixe du moteur) ou à l'intérieur de l'aube ou pale (par exemple entre le corps de l'aube ou pale et un renfort de bords d'attaque), de sorte que la présence

de ces capteurs ne perturbe pas l'écoulement de l'air à la surface de l'aube ou pale.

Les particules magnétostrictives ou piezomagnétiques peuvent être formées en oxyde métallique magnétique comme la magnétite, en matériau  
5 ferromagnétique ou en alliage à base de fer et de nickel, en ferrite ou encore en matériau ferromagnétique ou en alliage sous forme oxydée.

L'invention se rapporte également selon un deuxième aspect à un système de contrôle d'une aube ou pale selon le premier aspect comprenant :

- 10 -un capteur configuré pour mesurer une valeur de champ magnétique généré par les particules magnétostrictives ou piezomagnétiques, et
- un dispositif de traitement de données configuré pour recevoir ladite valeur de champs magnétique mesurée et pour détecter la présence d'un défaut éventuel dans le matériau composite en fonction de la valeur de champ  
15 magnétique mesurée reçue.

L'invention concerne aussi selon un troisième aspect un procédé de contrôle d'une aube ou d'une pale selon le premier aspect, comprenant des étapes de :

- mesurer au moyen d'un capteur une valeur de champ magnétique généré  
20 par les particules magnétostrictives ou piezomagnétiques, et
- détecter la présence d'un défaut éventuel dans le matériau composite en fonction de la valeur de champ magnétique mesurée.

Selon un premier mode de réalisation, le capteur est monté sur une partie fixe du moteur, l'aube ou la pale étant mobile par rapport à la partie  
25 fixe.

Le capteur est par exemple monté sur un carter, un redresseur (« Outlet Guide Vanne » ou OGV) ou un bec de séparation du moteur.

Selon un deuxième mode de réalisation, le capteur est monté sur l'aube ou la pale.

L'aube ou la pale peut comprendre un renfort s'étendant le long d'un bord d'attaque de l'aube ou de la pale, le capteur étant disposé entre le renfort et le corps de l'aube ou de la pale.

Le capteur peut communiquer avec ledit dispositif de traitement de données par l'intermédiaire d'une interface de communication déportée à l'extrémité d'un bord d'attaque de l'aube ou de la pale, l'extrémité étant dépourvue de renfort.

Alternativement, le capteur peut communiquer avec ledit dispositif de traitement de données au travers d'une partie de l'aube ou de la pale opposée au bord d'attaque de l'aube ou de la pale par rapport au capteur.

Le procédé selon le troisième aspect peut comprendre une étape de :  
- comparer la valeur de champ magnétique mesurée avec une valeur de référence, la présence d'un défaut dans le matériau étant détectée lorsqu'un écart entre la valeur de champ magnétique mesurée et la valeur de référence dépasse un seuil prédéterminé.

La valeur de référence peut être une valeur de champ magnétique générée par les particules magnétostrictives ou piezomagnétiques préalablement mesurée en usine ou après un ou plusieurs vols de l'aéronef.

Alternativement, la valeur de référence peut être une moyenne de plusieurs valeurs de champs magnétiques générés par les particules magnétostrictives ou piezomagnétiques, les valeurs ayant été mesurées après différents vols de l'aéronef.

Le procédé selon le troisième aspect peut également comprendre une étape de :  
- transmission de la valeur de champ magnétique mesurée par le capteur à un module de traitement informatique, le module de traitement étant programmé pour détecter la présence d'un défaut éventuel dans le matériau composite en fonction de la valeur de champ magnétique mesurée.

La valeur de champ magnétique mesurée peut être transmise au module de traitement via une interface de communication sans fil déportée à

une extrémité d'un bord d'attaque de l'aube ou de la pale, l'extrémité étant dépourvue de renfort.

Alternativement, la valeur de champ magnétique mesurée peut être transmise au module de traitement via une interface de communication sans fil émettant au travers une partie de l'aube ou de la pale opposée à un bord d'attaque de l'aube ou de la pale par rapport au capteur.

Dans le reste de ce document, le terme « aube » est employé mais les différents aspects de l'invention décrits ci-dessous peuvent également être appliqués à une pale d'un moteur d'aéronef.

#### DESCRIPTION DES FIGURES

D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention ressortiront de la description qui suit, qui est purement illustrative et non limitative, et qui doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 représente de manière schématique une aube de moteur d'aéronef conforme à un mode de réalisation de l'invention,
- la figure 2 représente un système de contrôle de l'aube conforme à un mode de réalisation l'invention,
- la figure 3 représente de manière schématique un dispositif de mesure de champ magnétique faisant partie du système de contrôle,
- la figure 4 représente de manière schématique en coupe axiale un moteur pour la propulsion d'un aéronef dans lequel les capteurs sont disposés selon un premier mode de réalisation de l'invention,
- la figure 5 représente de manière schématique en coupe axiale une aube dans laquelle les capteurs sont disposés selon un deuxième mode de réalisation de l'invention,
- la figure 6 représente de manière schématique un système de traitement de données pour traiter les données de champ magnétiques mesurées par le dispositif de mesure de champ magnétique,

- la figure 7 représente de manière schématique des étapes d'un procédé de contrôle d'une aube conforme à un mode de mise en œuvre de l'invention.

## 5 DESCRIPTION DETAILLEE D'AU MOINS UN MODE DE REALISATION

Sur la figure 1, l'aube 400 de moteur d'aéronef représentée comprend un corps 402 en matériau composite.

Le matériau composite est constitué d'une structure de renfort 403 et d'une matrice de rigidification 404 dans laquelle la structure de renfort 403 est noyée.  
10

La structure de renfort 403 comprend des fibres 405 tissées en trois dimensions. Plus précisément, les fibres 405 comprennent des fils de trame 406 disposés dans plusieurs plans parallèles (plans de trame) et des fils de chaîne 407 disposés dans plusieurs plans parallèles (plans de chaîne), les plans de chaîne étant orthogonaux aux plans de trame. Les fils de trames 406 sont liés entre eux par les fils de chaîne 407, chaque fil de chaîne 407 liant des fils de trame 406 de plusieurs plans de trame.  
15

Les fibres 405 sont typiquement des fibres en carbure de silicium.

La matrice de rigidification 404 imprègne l'ensemble de la structure de renfort 403 et s'étend dans les interstices entre les fibres 405. La matrice de rigidification 404 comprend un liant 408 qui maintient la disposition des fibres 405 entre elles.  
20

Le liant 408 est par exemple une résine thermodurcissable ou de la céramique.

La matrice 404 comprend également des particules magnétostrictives ou piezomagnétiques 102 dispersées de manière homogène dans le liant 408. De cette manière, les particules 102 sont réparties à l'intérieur de la structure de renfort 403 dans l'ensemble du corps 402 de l'aube 400.  
25

Les particules magnétostrictives ou piezomagnétiques 102 peuvent être formées en oxyde métallique magnétique comme la magnétite, en  
30

matériau ferromagnétique ou en alliage à base de fer et de nickel, en ferrite ou encore en matériau ferromagnétique ou en alliage sous forme oxydée.

Les particules 102 peuvent être présentes dans le matériau composite constituant l'aube sous diverses formes telles que des nanoparticules ou des fibres de taille variable et dans des proportions variables. A titre d'exemple  
5 les particules 102 peuvent être présentes dans le matériau composite à hauteur de 0,1% à 1% en poids. Selon une variante, le matériau peut contenir jusqu'à 30% de particules magnétostrictives ou piezomagnétiques.

Le corps 402 de l'aube peut être fabriqué de la manière suivante.

10 Selon une première étape, la structure de renfort 403 est réalisée par tissage de fibres 405 en trois dimensions.

Selon une deuxième étape, une composition destinée à former la matrice 404 est injectée dans la structure de renfort 403 selon un procédé de fabrication RTM (« Resin Transfer Molding »). A cet effet, la structure de  
15 renfort 403 est placée à l'intérieur d'une cavité d'un moule chauffant et la composition comprenant de la résine, un catalyseur et des particules magnétostrictives ou piezomagnétiques, est injectée dans la cavité du moule de manière à remplir toute la cavité et à noyer la structure de renfort 403 dans la composition.

20 Cette étape permet de répartir les particules magnétostrictives ou piezomagnétiques 102 dans toute le corps 402 de l'aube. La répartition des particules 102 est de préférence uniforme.

Selon une troisième étape, une fois que la composition a durci pour former la matrice de rigidification, le corps 402 en matériau composite est  
25 extrait du moule.

Selon une première possibilité, un seul type de particules magnétostrictives ou piezomagnétiques 102 est utilisé pour la fabrication de toutes les aubes d'un même moteur d'aéronef. Chaque aube a néanmoins une signature magnétique propre pouvant être utilisée pour identifier l'aube.  
30 En effet, la disposition des particules magnétostrictives ou piezomagnétiques diffère d'une aube à l'autre.

Selon une deuxième possibilité, plusieurs types de particules magnétostrictives ou piezomagnétiques 102 sont utilisés pour la fabrication des aubes d'un même moteur d'aéronef. Plus particulièrement, un type différent de particules magnétostrictives ou piezomagnétiques 102 peut être  
5 utilisé pour chacune des aubes du moteur. Une aube particulière du moteur peut ainsi être identifiée par le type de particules magnétostrictives ou piezomagnétiques qu'elle contient.

Le système de contrôle 100 illustré sur la figure 2 comprend un dispositif de mesure de champ magnétique 101 et un dispositif de traitement  
10 de données 103.

Le dispositif de mesure de champ magnétique 101 est adapté pour mesurer un champ magnétique généré par les particules magnétostrictives ou piezomagnétiques 102.

Le champ magnétique généré par les particules magnétostrictives ou  
15 piezomagnétiques dépend des contraintes mécaniques appliquées aux particules 102 de l'aube. Ces contraintes mécaniques varient lorsque le corps de l'aube subit une détérioration, ce qui entraîne une variation du champ magnétique généré.

Le dispositif de traitement de données 103 est configuré pour recevoir  
20 les valeurs de champ magnétique mesurées par le dispositif de mesure de champ magnétique 101 et traiter ces valeurs pour détecter la présence éventuelle d'un ou plusieurs défauts dans le corps de l'aube.

Le dispositif de mesure de champ magnétique 101 est illustré plus en  
détails sur la figure 3.

25 Le dispositif de mesure de champ magnétique 101 comprend un ou plusieurs capteur(s) électromagnétique(s) 201, un module de traitement 202, une mémoire de stockage de données 203, une interface de communication 204 et une source d'énergie 205.

30 Le ou les capteur(s) électromagnétique(s) 201 comprend(nent) par exemple un capteur à effet Hall, un capteur magnétostrictif, de type fluxgate ou de type SQUID. Avantageusement, chaque capteur 201 mesure

différentes caractéristiques du champ magnétique telles qu'une intensité du champ magnétique et des composantes du champ magnétique suivant trois directions orthogonales.

L'interface de communication 204 permet au dispositif 101 de  
5 communiquer avec un dispositif de traitement de données distant 103. Il peut s'agir d'une interface de communication filaire, telle qu'une interface RJ-45, une interface RJ-11 ou un port série RS-232 par exemple. Alternativement, l'interface de communication 204 peut être une interface de communication sans fil telle qu'une puce RFID ou bien une antenne pour une communication  
10 selon un protocole de communication sans fil, par exemple parmi les protocoles Wifi, Bluetooth ou NFC.

La source d'énergie 205 peut comprendre une prise d'alimentation à laquelle est branchée une alimentation externe par une liaison filaire. Selon une variante de l'invention, le dispositif de mesure de champ magnétique 101  
15 peut être autoalimenté et la source d'énergie 205 comprend alors un accumulateur tel qu'une batterie Ni-Cd, Ni-MH ou Li-ion. Alternativement, le dispositif de mesure de champ magnétique peut comprendre un générateur d'énergie autonome, capable de recharger l'accumulateur, tel qu'un générateur d'énergie piezzoélectrique.

20 La figure 4 représente de manière schématique un moteur 300 pour la propulsion d'un aéronef dans laquelle les capteurs 201 sont disposés selon un premier mode de réalisation.

Le moteur 300 comprend une soufflante 306, un compresseur 301, une turbine 302 et un redresseur 303.

25 La soufflante 306 délivre un flux d'air, dont une partie centrale, appelée flux primaire FP, est injectée dans le compresseur 301 qui alimente la turbine 302. La partie périphérique du flux d'air, appelée flux secondaire FS, est quant à elle rejetée vers l'atmosphère pour fournir une partie de la poussée du moteur 300, après avoir franchi le redresseur 303.

30 Le redresseur 303 (également connue sous l'acronyme anglais OGV pour « Outlet Guide Vanne ») comprend une couronne d'aubes fixes

disposée en aval de la soufflante qui ont pour fonction de redresser le flux d'air en sortie de la soufflante, tout en limitant les pertes au maximum.

Dans ce premier mode de réalisation, les capteurs 201 sont positionnés à distance de l'aube 400 à surveiller de manière à pouvoir mesurer le champ magnétique généré par les particules magnétostrictives ou piezomagnétiques 102. Ainsi, les capteurs 201 ne perturbent pas l'écoulement de l'air sur les aubes du moteur. Plus précisément, les capteurs 101 sont montés sur une partie fixe du moteur. A titre d'exemple les capteurs sont montés sur le carter du moteur 304, les OGV 303 ou bien le bec de séparation 305.

Dans ce premier mode de réalisation, le dispositif de mesure de champ magnétique 101 ne possède pas une connaissance a priori de l'identité de l'aube pour laquelle une mesure de champ magnétique est effectuée à un instant donné, le moteur comprenant une pluralité d'aubes. Dans ce cas, il est possible de prévoir que chaque aube comporte un identifiant lisible par machine sur sa surface ou bien une étiquette RFID.

La figure 5 représente de manière schématique une aube sur laquelle les capteurs 201 sont disposés selon un deuxième mode de réalisation.

Dans ce deuxième mode de réalisation, les capteurs 201 sont positionnés en contact avec les aubes 400, sous un renfort métallique 401 protégeant le bord d'attaque de l'aube. Plus précisément, les capteurs sont disposés entre le renfort métallique 401 et le corps 402 de l'aube. Ainsi, les capteurs 201 ne perturbent pas l'écoulement de l'air sur les aubes du moteur. Selon une variante non représentée les capteurs sont noyés dans la résine dans le corps 402 de l'aube.

Dans ce deuxième mode de réalisation, la présence du renfort métallique 401 protégeant le bord d'attaque de l'aube à proximité d'un capteur 201 peut perturber les communications entre le dispositif de mesure de champ magnétique 101 et le dispositif de traitement de données 103. Il est donc utile de prévoir un agencement de l'interface de communication 204

permettant de garantir la possibilité d'un échange de données entre le dispositif de mesure de champ magnétique 101 et le dispositif de traitement 103.

Selon une première variante, l'interface de communication sans fil 204 est déportée à l'extrémité du bord d'attaque de l'aube dans laquelle est placé le capteur 201. Ainsi l'interface peut comprendre une antenne qui n'est pas placée sous le renfort métallique 401 du bord d'attaque, ce qui améliore la qualité de la communication entre le dispositif de mesure de champ magnétique 101 et le dispositif de traitement de données 103. L'interface de communication 204 est alors reliée aux autres éléments constitutifs du dispositif de mesure de champ magnétique 101 par une liaison filaire disposée le long du bord d'attaque de l'aube, sous le renfort métallique 401.

Selon une deuxième variante, la communication sans fil entre le dispositif de mesure de champ magnétique 101 et le dispositif de traitement de données 103 a lieu au travers de la partie de l'aube opposée au bord d'attaque de l'aube par rapport au capteur 201. L'aube est en effet constituée majoritairement de résine et ne fait pas un obstacle à la propagation d'ondes électromagnétiques depuis le dispositif de mesure de champ magnétique 101 à destination du dispositif de traitement de données 103.

Dans ce deuxième mode de réalisation, les capteurs 201 sont préférentiellement autoalimentés par un accumulateur éventuellement alimenté par un système de récupération d'énergie comme décrit précédemment.

Le dispositif de traitement de données 103 est illustré plus en détails sur la figure 6.

Le dispositif de traitement de données 103 comprend une interface de communication 501, une mémoire vive 502, une mémoire de stockage de données 503 et un module de traitement informatique 504.

L'interface de communication 501 peut être une interface filaire ou sans fil quelconque connue tel qu'une connexion Ethernet, Wifi ou 3G.

Le dispositif de traitement de données 103 est adapté pour recevoir les valeurs de champ magnétique mesurées par le dispositif de mesure 101 par le biais de l'interface de communication 501.

5 Le module de traitement 504 peut être un calculateur programmé pour déterminer des données représentatives du champ magnétique à partir des valeurs mesurées par les capteurs. A cet effet, le module de traitement 504 est programmé pour comparer les données représentatives du champ magnétique avec des données de référence, afin de détecter la présence de défauts éventuels dans les aubes à surveiller.

10 Les données de référence sont stockées dans une base de données de référence 505. La base de données 505 peut être mémorisée par la mémoire de stockage 503 du dispositif de traitement de données 103 ou bien mémorisée dans un serveur externe avec lequel le dispositif de traitement de données 103 est en communication par le biais de l'interface de communication 501.

Selon une première possibilité, le dispositif de traitement de données 103 est embarqué à bord de l'aéronef et est en communication permanente ou intermittente avec le dispositif de mesure de champ magnétique 101.

20 Selon une deuxième possibilité, le dispositif de traitement de données 103 comprend deux parties, à savoir : une première partie incluant un module de traitement informatique embarqué configuré pour communiquer avec le dispositif de mesure de champ magnétique 101 et pour stocker les valeurs de champ mesurées, et une deuxième partie comprenant une module de traitement informatique installé au sol, configurée pour entrer  
25 périodiquement en communication avec le module de traitement embarqué pour récupérer auprès de celui-ci les valeurs mesurées et exécuter le traitement des données représentatives du champ magnétique.

Selon une troisième possibilité le dispositif de traitement de données 103 est installé uniquement au sol et les fonctions assurées par la première  
30 partie embarquée selon la deuxième possibilité décrite ci-dessus sont

assurées par le dispositif de mesure de champ magnétique 101 et son module de traitement 202.

La figure 7 représente des étapes d'un procédé de contrôle 600 conforme à un mode de mise en œuvre de l'invention.

5 Selon une étape préliminaire 601, la base de données de référence 505 est constituée. La base de données 505 contient des données de référence représentatives d'un champ magnétique généré par chaque aube du moteur de l'aéronef. Les données de référence comprennent un ensemble de valeurs de champ magnétique, chaque valeur étant associée à  
10 un point d'une aube donnée.

Les données de référence peuvent comprendre des valeurs de champ magnétique généré par les particules magnétostrictives ou piezomagnétiques qui ont été préalablement mesurées en usine ou après un ou plusieurs vols de l'aéronef.

15 Alternativement, les données de référence peuvent comprendre des moyennes de valeurs de champs magnétiques générés par les particules magnétostrictives ou piezomagnétiques, les valeurs ayant été mesurées après différents vols de l'aéronef.

Les données de référence sont enregistrées dans la base de données  
20 505 en association avec un identifiant permettant d'identifier l'aube ayant généré le champ magnétique. Pour chaque aube, plusieurs valeurs de champ magnétique sont stockées correspondant à différents points de mesure.

Ces données de référence peuvent avoir été acquises à l'aide du  
25 dispositif de mesure de champ magnétique 101. L'acquisition peut avoir été réalisée en usine avant l'installation du moteur sur l'aéronef. Alternativement, l'acquisition peut avoir été réalisée après un vol de l'aéronef, par exemple après le dernier vol de l'aéronef, les données acquises étant alors stockées en association avec un identifiant du vol. La base de données de référence  
30 505 peut alors contenir les données acquises pour différents vols de l'aéronef.

Une autre possibilité consisterait à générer les données de référence par simulation à l'aide d'un modèle numérique du moteur.

Les données de référence sont stockées dans la base de données de référence 505 sous plusieurs formes.

5 Les données peuvent être stockées sous la forme d'une série de valeurs, correspondant par exemple aux valeurs mesurées par les différents capteurs 201.

Les données peuvent être stockées sous la forme d'une image ou d'une carte représentant le champ magnétique dans l'ensemble de la structure de l'aube pour laquelle elles ont été mesurées.

Des valeurs mesurées par les capteurs 201 peuvent être utilisées pour déterminer pour chaque aube du moteur une forme géométrique de champ magnétique qui constitue les données de référence stockées dans la base de données de référence 505 pour chaque aube.

15 Selon une deuxième étape 602, les capteurs mesurent un ensemble de valeurs de champ magnétique pour une aube à contrôler.

Cette étape de mesure peut être réalisée à la fin d'un vol de l'aéronef, à faible régime ou au moment de l'arrêt du moteur.

Dans le cas où les aubes à surveiller sont mobiles par rapport aux capteurs 201 (premier mode de réalisation), le champ magnétique mesuré est variable en fonction de la position des aubes par rapport aux capteurs. Pour limiter cette variation lors de la mesure, les capteurs 201 ne mesurent une valeur de champ magnétique que lorsque les aubes sont à l'arrêt, ou bien en rotation à très faible vitesse. A cet effet, la vitesse des aubes est comparée à un seuil et la mesure des valeurs de champ magnétique n'est déclenchée que lorsque la vitesse est inférieure au seuil.

De préférence, la mesure n'est effectuée que lorsque l'aube contrôlée est dans une position connue par rapport aux capteurs 201, par exemple lorsque la distance entre l'aube contrôlée et les capteurs est minimale. Les données de référence enregistrées dans la base de données de référence 30 505 pour l'aube contrôlée ont été acquises dans cette même position afin

que les données issues des valeurs mesurées à l'étape 602 pour l'aube contrôlée et les données de référence ne présentent qu'un faible écart ou aucun écart dû à une différence de position de l'aube par rapport aux capteurs.

5 De plus, la position peut être choisie afin de maximiser l'amplitude du signal mesuré par les capteurs 201 et donc d'améliorer la précision de la mesure.

Enfin cette position peut également permettre de limiter l'influence des particules magnétostrictives ou piezomagnétiques dispersées dans les  
10 autres aubes sur la mesure du champ magnétique pour l'aube contrôlée. La position peut en effet être choisie de façon à ce que le champ magnétique mesuré par les capteurs soit principalement généré par les particules magnétostrictives ou piezomagnétiques dispersées dans l'aube contrôlée.

Selon une troisième étape 603, les valeurs de champ magnétiques  
15 mesurées par les capteurs 201 sont transmises au dispositif de traitement de données 103 via les interfaces 204-501, éventuellement après un prétraitement réalisé par le module de traitement 202.

Dans le cas où le dispositif de traitement de données 103 comprend  
20 deux parties, le dispositif de mesure 101 transmet les valeurs mesurées au module de traitement embarqué qui les transmet ensuite, après traitement ou non, au module de traitement au sol.

Selon une quatrième étape 604, le module de traitement 504 détermine des données représentatives du champ magnétique de chaque aube à partir des valeurs mesurées.

25 Un identifiant du vol de l'aéronef pour lequel ces valeurs ont été mesurées peut être associé à ces valeurs. Cette association peut être réalisée par le dispositif de mesure de champ magnétique, auquel cas l'identifiant du vol est transmis par le dispositif de mesure du champ magnétique 101 en même temps que les valeurs mesurées au dispositif de  
30 traitement de données 103. Alternativement, l'association peut être réalisée par le dispositif de traitement de données 103 lui-même.

Selon une cinquième étape 605, les valeurs de champ mesurées sont enregistrées dans la base de données de référence 505, en association avec l'identifiant de vol et le cas échéant avec l'identifiant d'aube.

5 Selon une sixième étape 606, le module de traitement 504 compare les données représentatives d'un champ magnétique aux données de référence contenues dans la base de données de référence 505, afin de déterminer l'éventuelle présence d'un défaut dans le corps de l'une des aubes.

10 Dans le cas où les données représentatives du champ magnétique mesuré sont sous forme d'images ou de cartes, la comparaison met en œuvre un algorithme de comparaison d'images, tel qu'un algorithme basé sur la distance de Hamming ou la distance de Minkowski.

15 Dans le cas où les données représentatives sont une forme d'un champ magnétique, la comparaison met en œuvre un algorithme de reconnaissance de forme, tel qu'une reconnaissance de forme par réseau de neurone, par modèle de Markov caché ou par localisation de sommets.

20 Cette étape de comparaison peut comprendre la détermination de pics d'écart correspondants aux écarts maximum entre les données représentatives pour l'aube contrôlée et les données de référence. Dans ce cas, le module de traitement 504 conclut à la présence d'un défaut dans le corps de l'aube contrôlée et génère une alerte lorsque l'amplitude d'au moins un pic d'écart est supérieure à un seuil donné.

25 Si chaque aube présente un identifiant ou si l'aube à contrôler peut être identifiée en raison du type de particules disséminées dans sa structure ou si le positionnement des capteurs est réalisé suivant le deuxième mode de réalisation de l'invention, le dispositif de traitement de données connaît l'identité de l'aube contrôlée. Les données de référence utilisées pour la comparaison sont alors les données stockées dans la base de données de référence 505 correspondant à la même aube.

30 A l'inverse, si il n'est pas possible de différencier les aubes les unes des autres et que le positionnement des capteurs 201 est réalisé suivant le

premier mode de réalisation de l'invention, le dispositif de traitement de données 103 ignore l'identité de l'aube contrôlée. Les données de référence utilisées pour la comparaison sont alors les données stockées dans la base de données de référence 505 correspondant à l'ensemble des aubes du  
5 moteur.

Selon une variante, le dispositif de traitement de données 103 compare les données représentatives pour l'aube contrôlée à chacune des données de références des différentes aubes du moteur jusqu'à ce qu'une comparaison soit positive, c'est-à-dire que l'écart entre les données  
10 représentatives pour l'aube contrôlée et les données de référence soit inférieur à un seuil prédéterminé, auquel cas l'aube contrôlée est déterminée comme saine, c'est-à-dire exempte de défaut de structure, et son identité est considérée comme connue et égale à celle associée aux données de référence pour lesquelles la comparaison est positive. Si aucune  
15 comparaison n'est positive, le dispositif de traitement 103 détermine qu'une des aubes du moteur présente un défaut de structure, sans pouvoir identifier laquelle.

Selon une variante, le procédé est mis en œuvre séquentiellement pour l'ensemble des aubes du moteur, dans un ordre connu. Si le dispositif  
20 de traitement ignore l'identité d'une aube en cours de contrôle mais qu'une précédente aube contrôlée a été identifiée, le dispositif de traitement utilise l'identité de l'aube précédente et l'ordre de contrôle des aubes pour déterminer l'identité de l'aube contrôlée. Si aucune aube du moteur n'est déterminée comme saine par le dispositif de traitement de données 103,  
25 celui-ci détermine que l'ensemble des aubes du moteur présentent des défauts de structure ou bien que le dispositif de mesure 101 présente un dysfonctionnement. Préférentiellement, le dispositif de traitement 103 peut alors identifier une aube contrôlée particulière par l'identifiant associé aux données de référence présentant un écart minimal avec les données  
30 représentatives pour cette aube contrôlée. Pour faciliter l'identification d'une aube particulière, une des aubes peut présenter une signature magnétique

distinctive très différente de celle des autres aubes, par exemple du fait d'une densité plus faible, voire nulle, en particules magnétostrictives dans le matériau de l'aube. L'identité des autres aubes du moteur peut ensuite être déterminée à partir de l'identité de l'aube particulière et de la connaissance  
5 de l'ordre de contrôle des aubes du moteur. Préférentiellement, l'aube particulière est celle parmi toutes les aubes du moteur dont les données représentatives présentent le plus faible écart minimal avec chacune des données de référence.

Selon une septième étape 607, le module de traitement 504  
10 déclenche une alerte si la présence de défauts dans l'aube contrôlée a été détectée à l'étape 606.

Selon une première variante, différentes alertes peuvent être générées en fonction du résultat de la comparaison effectuée à l'étape 606, notamment, en fonction de l'amplitude des pics d'écarts déterminés et du  
15 nombre de ces pics. Par exemple une première alerte pourra être générée en cas de détermination d'un seul pic de grande amplitude correspondant à un gros défaut de structure et une alerte différente pourra être générée en cas de détermination de plusieurs pics significatifs mais d'amplitude moindre correspondant à plusieurs petits défauts de structures.

20 Selon une deuxième variante, en cas de détermination de la présence d'un défaut de structure, un compteur est incrémenté et les étapes 602 à 606 sont réitérées afin de confirmer le diagnostic. Une alerte n'est alors émise que lorsque le compteur dépasse un seuil prédéterminé.

Selon une variante, le procédé de contrôle est mis en œuvre pour une  
25 aube donnée à l'issue de plusieurs vols successifs de l'aéronef. Lors de l'étape 606, le module de traitement de données analyse alors l'évolution sur lesdits vols des données représentatives ou des pics d'écart déterminés. Le dispositif de traitement émet une alerte lorsque ladite évolution permet de pronostiquer l'apparition à court terme de défauts de structure dans la  
30 structure de l'aube contrôlée. Plus particulièrement une alerte est émise lorsque l'extrapolation d'une courbe d'écart entre les données

représentatives et les données de référence permet de déterminer que l'écart dépassera un seuil critique pour l'apparition de défauts de structure avant un nombre de vols fixé.

Le procédé de contrôle peut être mis en œuvre pour l'ensemble des  
5 aubes du moteur de l'aéronef à l'issue de chaque vol.

10

15

20

## REVENDEICATIONS

1. Aube ou pale (400) pour moteur d'aéronef comprenant un corps (402) en matériau composite, le matériau composite étant constitué de :
  - 5 - une structure de renfort (403) comprenant des fibres (405) tissées en trois dimensions, et
  - une matrice de rigidification (404) dans laquelle la structure de renfort (403) est noyée, la matrice de rigidification (404) comprenant un liant (408) maintenant les fibres (405) entre elles et des particules ayant des propriétés  
10 magnétostrictives ou piezomagnétiques (102) dispersées dans le liant (408).
  
2. Aube ou pale (400) selon la revendication 1 caractérisée en ce que :  
les particules magnétostrictives ou piezomagnétiques (102) sont formées en  
15 oxyde métallique magnétique comme la magnétite, en matériau ferromagnétique ou en alliage à base de fer et de nickel, en ferrite ou encore en matériau ferromagnétique ou en alliage sous forme oxydée.
  
3. Système de contrôle d'une aube ou pale (400) selon l'une quelconque des  
20 revendications précédentes comprenant :
  - un capteur (201) configuré pour mesurer une valeur de champ magnétique généré par les particules magnétostrictives ou piezomagnétiques (102), et
  - un dispositif de traitement de données (103) configuré pour recevoir ladite  
25 valeur de champs magnétique mesurée et pour détecter la présence d'un défaut éventuel dans le matériau composite en fonction de la valeur de champ magnétique mesurée reçue.
  
4. . Système de contrôle selon la revendication 3 dans lequel le capteur (201)  
est monté sur une partie fixe du moteur, l'aube ou la pale étant mobile par  
30 rapport à la partie fixe.

5. Système de contrôle selon la revendication 4, dans lequel le capteur (201) est monté sur un carter (304), un redresseur (« Outlet Guide Vanne » ou OGV) (303) ou un bec de séparation (305) du moteur.
- 5 6. Système de contrôle selon la revendication 3, dans lequel le capteur (201) est monté sur l'aube ou la pale.
7. Système de contrôle selon la revendication 6, dans lequel l'aube ou la pale comprend un renfort (401) s'étendant le long d'un bord d'attaque de l'aube  
10 ou de la pale respectivement, le capteur (201) étant disposé entre le renfort (401) et le corps (402) de l'aube ou de la pale.
8. Système de contrôle selon la revendication 7 dans lequel le capteur (101) communique avec ledit dispositif de traitement de données (103) par  
15 l'intermédiaire d'une interface de communication (204) déportée à l'extrémité d'un bord d'attaque de l'aube ou de la pale, l'extrémité étant dépourvue de renfort.
9. Système de contrôle selon la revendication 7 dans lequel le capteur (101)  
20 communique avec ledit dispositif de traitement de données (103) au travers d'une partie de l'aube ou de la pale opposée au bord d'attaque de l'aube (401) ou de la pale par rapport au capteur.
10. Procédé de contrôle d'une aube ou d'une pale (400) selon l'une des  
25 revendications 1 à 2, comprenant des étapes de :
- mesurer au moyen d'un capteur (201) une valeur de champ magnétique généré par les particules magnétostrictives ou piezomagnétiques (102), et
  - détecter la présence d'un défaut éventuel dans le matériau composite en fonction de la valeur de champ magnétique mesurée.

11. Procédé selon la revendication 10, dans lequel le capteur (201) est monté sur une partie fixe du moteur, l'aube ou la pale étant mobile par rapport à la partie fixe.
- 5 12. Procédé selon la revendication 11, dans lequel le capteur (201) est monté sur un carter (304), un redresseur (« Outlet Guide Vanne » ou OGV) (303) ou un bec de séparation (305) du moteur.
13. Procédé selon la revendication 10, dans lequel le capteur (201) est  
10 monté sur l'aube ou la pale.
14. Procédé selon la revendication 13, dans lequel l'aube ou la pale comprend un renfort (401) s'étendant le long d'un bord d'attaque de l'aube ou de la pale, le capteur (201) étant disposé entre le renfort (401) et le corps  
15 (402) de l'aube ou de la pale.
15. Procédé selon l'une des revendications 10 à 14, comprenant une étape de :
- 20 - comparer la valeur de champ magnétique mesurée avec une valeur de référence, la présence d'un défaut dans le matériau étant détectée lorsqu'un écart entre la valeur de champ magnétique mesurée et la valeur de référence dépasse un seuil prédéterminé.
16. Procédé selon la revendication 15, dans lequel la valeur de référence est  
25 une valeur de champ magnétique généré par les particules magnétostrictives ou piezomagnétiques (102) préalablement mesurée en usine ou après un ou plusieurs vols de l'aéronef.
17. Procédé selon la revendication 15, dans lequel la valeur de référence est  
30 une moyenne de plusieurs valeurs de champs magnétiques générés par les

particules magnétostrictives ou piezomagnétiques (102), les valeurs ayant été mesurées après différents vols de l'aéronef.

5 18. Procédé selon l'une des revendications 10 à 17, comprenant une étape de :

- transmission de la valeur de champ magnétique mesurée par le capteur (201) à un module de traitement informatique (504), le module de traitement (504) étant programmé pour détecter la présence d'un défaut éventuel dans le matériau composite en fonction de la valeur de champ magnétique  
10 mesurée.

19. Procédé selon la revendication 18, dans laquelle la valeur de champ magnétique mesurée est transmise au module de traitement (504) via une interface de communication (204) sans fil déportée à une extrémité d'un bord  
15 d'attaque de l'aube ou de la pale (401), l'extrémité étant dépourvue de renfort.

20. Procédé selon la revendication 18, dans laquelle la valeur de champ magnétique mesurée est transmise au module de traitement via une  
20 interface de communication (204) sans fil émettant au travers une partie de l'aube ou de la pale opposée à un bord d'attaque de l'aube ou de la pale (401) par rapport au capteur (201).

25

30

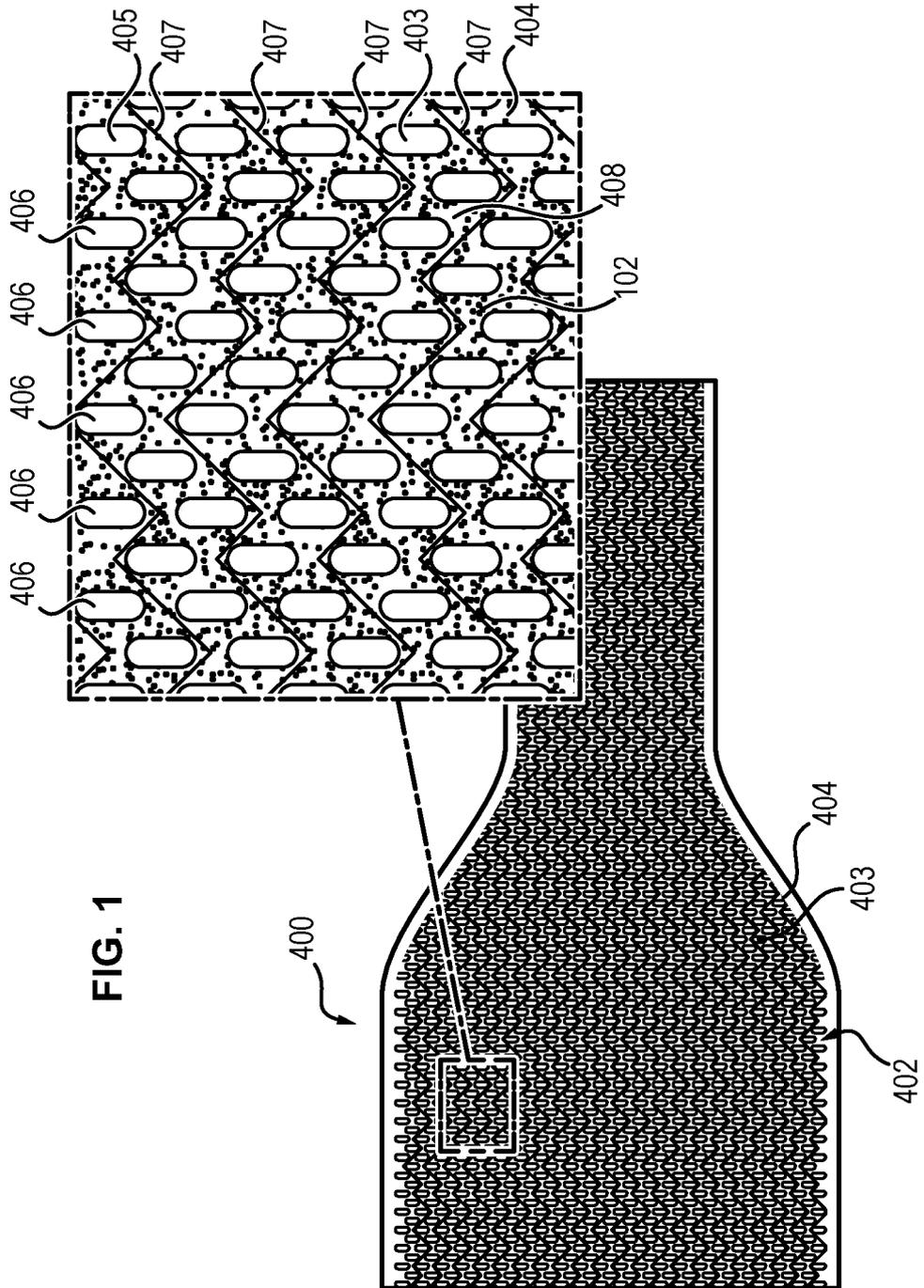


FIG. 1

400

406 406 406 406 406 406

405

407

407

407

403

407

404

102

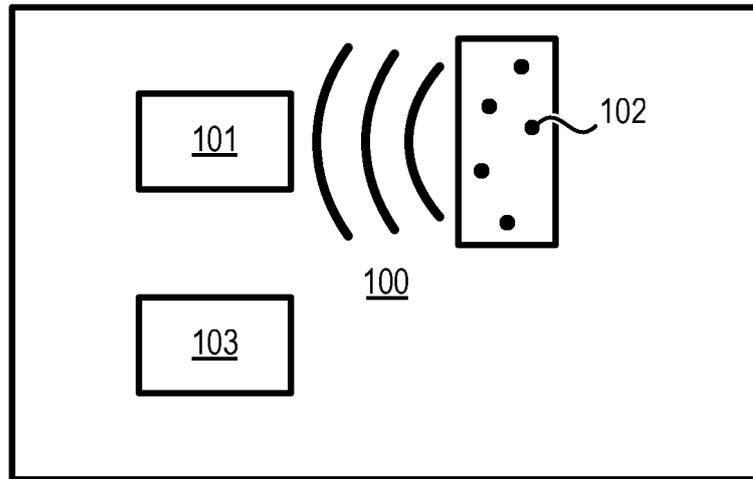
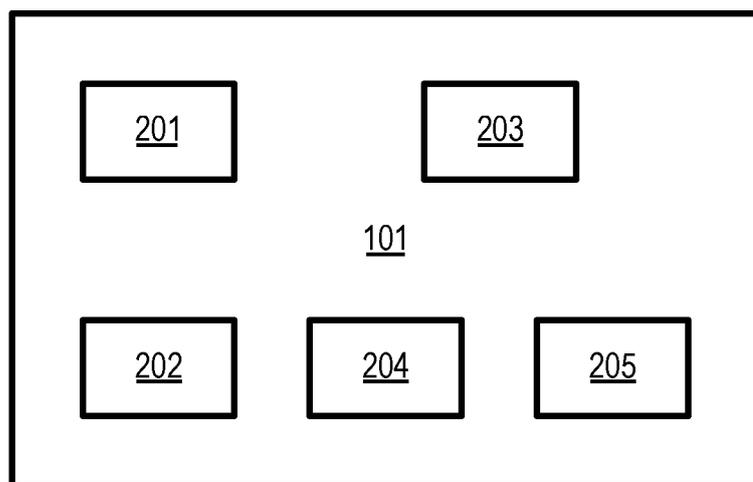
404

403

402

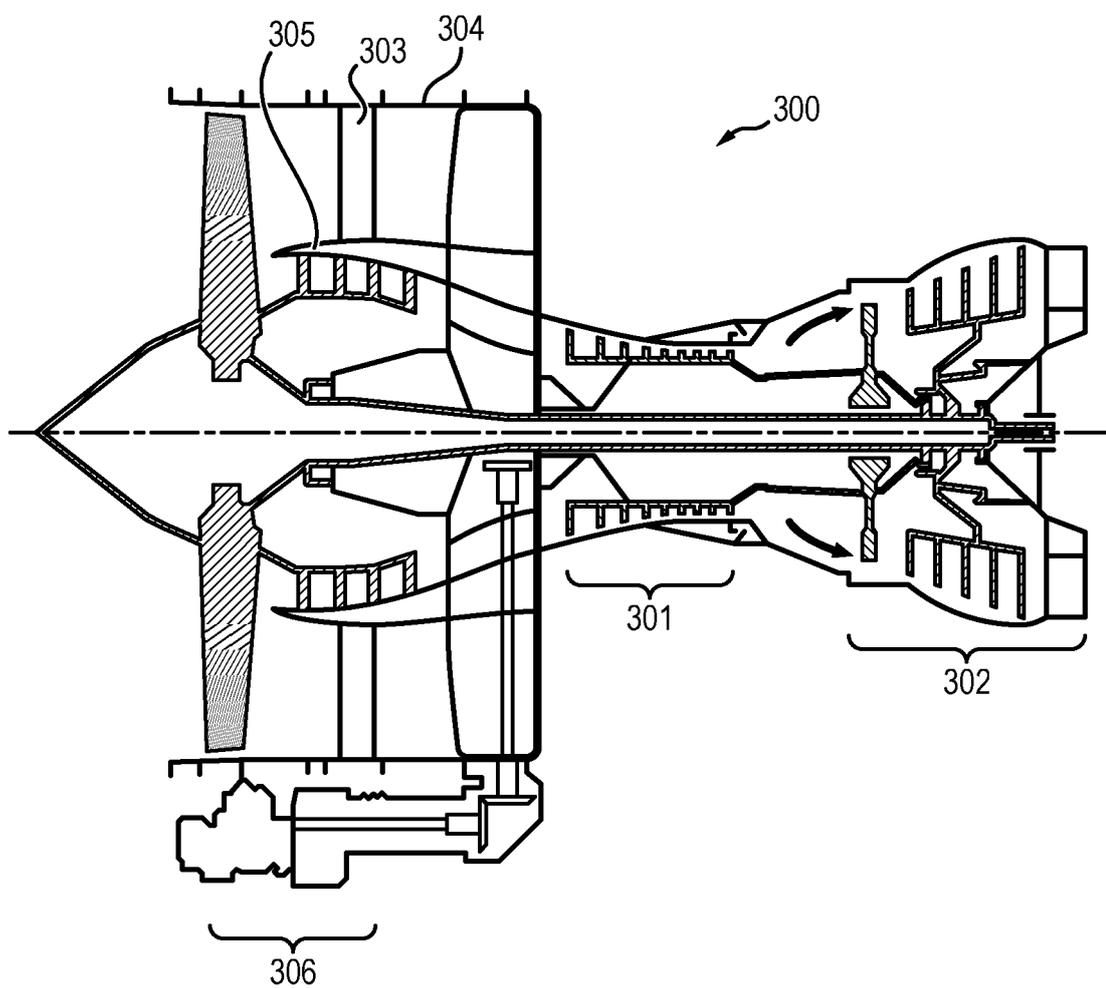
404

408

**2/5****FIG. 2****FIG. 3**

3/5

FIG. 4



4/5

FIG. 5

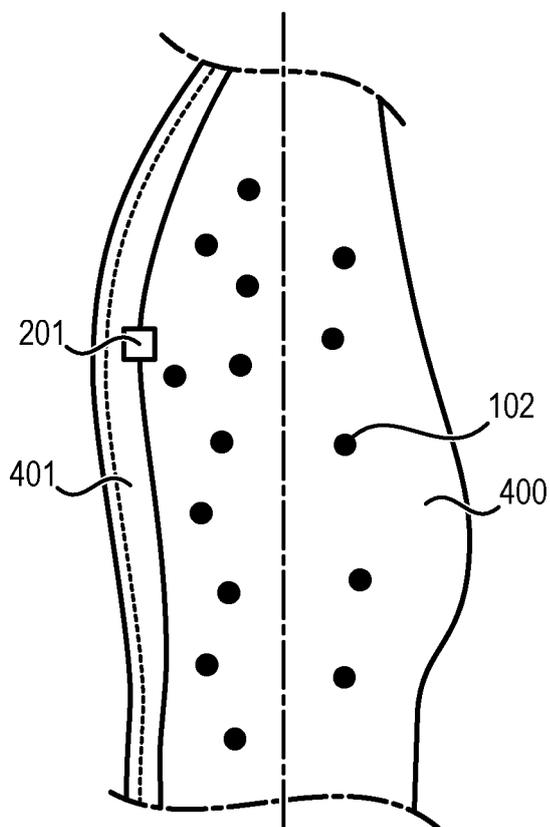
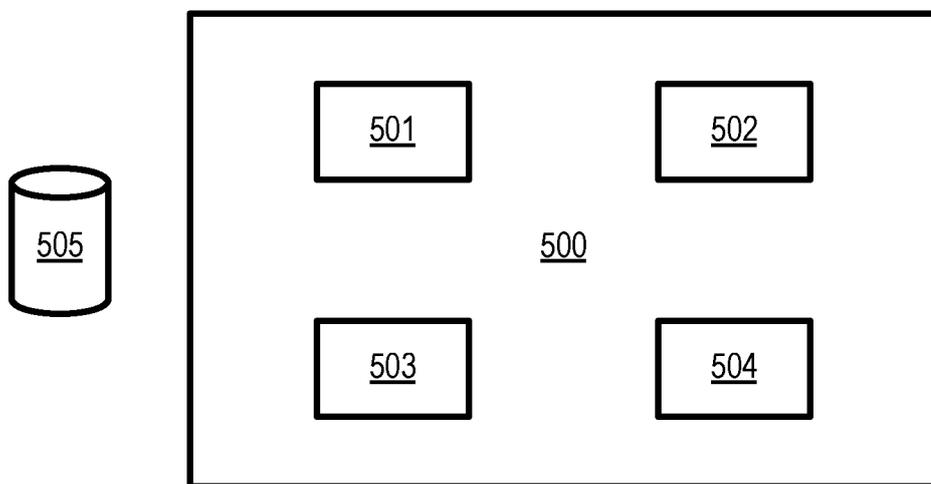
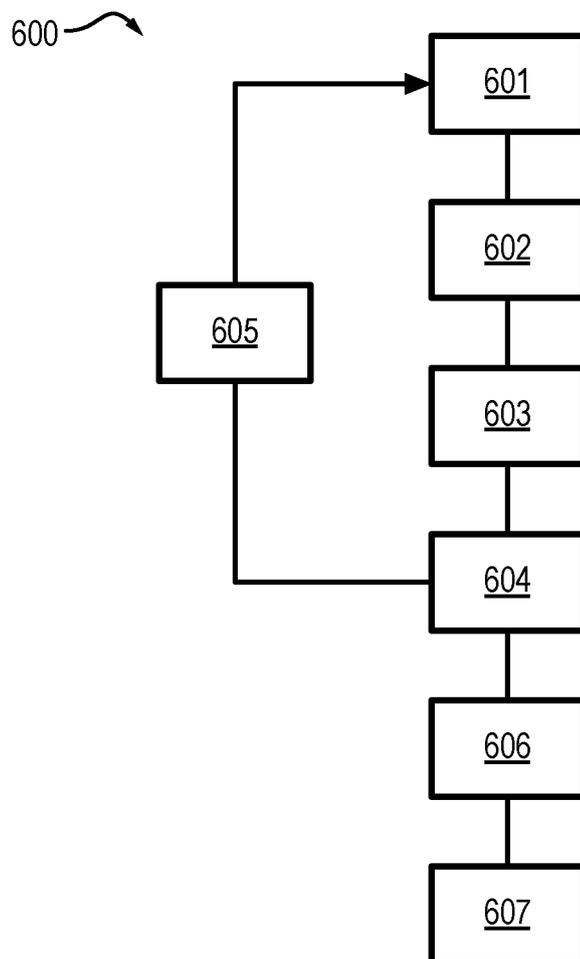


FIG. 6



**5/5****FIG. 7**

**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

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

FA 778924  
FR 1353574

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	FR 2 951 222 A1 (SNECMA [FR]) 15 avril 2011 (2011-04-15)	1	F01D5/28 F01D9/02
Y	* page 5, ligne 11 - page 12, ligne 23; figures *	2-20	F04D29/38 F04D29/54 B29C70/24
Y,D	US 2012/070668 A1 (GEORGESON GARY E [US] ET AL) 22 mars 2012 (2012-03-22) * alinéa [0015] - alinéa [0044]; figures *	2-20	
A,D	FR 2 861 143 A1 (SNECMA MOTEURS [FR]) 22 avril 2005 (2005-04-22) * le document en entier *	1-20	
A	WO 2011/161371 A1 (SNECMA [FR]; BLANCHARD STEPHANE PIERRE GUILLAUME [FR]; RICOU LAURENT P) 29 décembre 2011 (2011-12-29) * le document en entier *	1-20	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			F01D G01N
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
23 janvier 2014		Teissier, Damien	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date	
autre document de la même catégorie		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	

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1353574 FA 778924**

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 **23-01-2014**

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
FR 2951222	A1	15-04-2011	AUCUN	
-----				
US 2012070668	A1	22-03-2012	EP 2431156 A1	21-03-2012
			US 2012070668 A1	22-03-2012
			US 2013147636 A1	13-06-2013
-----				
FR 2861143	A1	22-04-2005	EP 1526285 A1	27-04-2005
			FR 2861143 A1	22-04-2005
			JP 4058033 B2	05-03-2008
			JP 2005133717 A	26-05-2005
			RU 2382206 C2	20-02-2010
			US 2005084377 A1	21-04-2005
			US 2006257260 A1	16-11-2006
-----				
WO 2011161371	A1	29-12-2011	FR 2961847 A1	30-12-2011
			GB 2496531 A	15-05-2013
			US 2013156590 A1	20-06-2013
			WO 2011161371 A1	29-12-2011
-----				