



(51) Classification internationale des brevets :  
G01N 29/11 (2006.01) G01N 29/44 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2014/051202

(22) Date de dépôt international :  
22 mai 2014 (22.05.2014)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
1354956 30 mai 2013 (30.05.2013) FR

(71) Déposant : SNECMA [FR/FR]; 2 boulevard du Général  
Martial Valin, F-75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs : BROUSSAIS-COLELLA, Nicolas; c/o  
Snecma PI (AJI), Rond-Point René Ravaud - Réau, F-  
77550 Moissy-Cramayel Cedex (FR). CHATELLIER,  
Jean-Yves; c/o Snecma PI (AJI), Rond-Point René Ravaud  
- Réau, F-77550 Moissy-Cramayel Cedex (FR). DUVAL,  
Jérémy; c/o Snecma PI (AJI), Rond-Point René Ravaud -  
Réau, F-77550 Moissy-Cramayel Cedex (FR).

(74) Mandataire : REGIMBEAU; 20, rue de Chazelles, F-  
75847 Paris Cedex 17 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre  
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,  
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,  
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,  
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,  
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,  
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME,  
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,  
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,  
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,  
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,  
ZW.

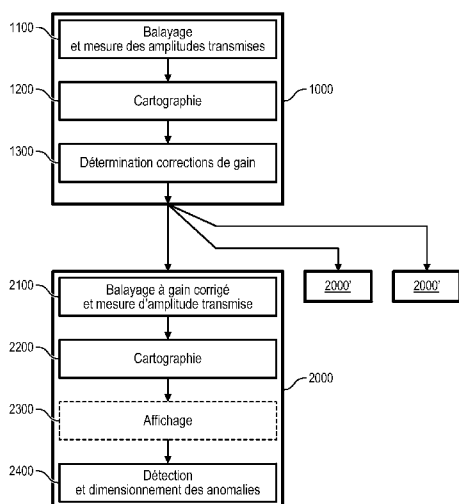
(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre  
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,  
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ,  
UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,  
TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,  
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,  
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM,  
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,  
KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : IMPROVED METHOD FOR INSPECTION BY THE TRANSMISSION OF ULTRASOUNDS

(54) Titre : PROCEDE D'INSPECTION PAR TRANSMISSION D'ULTRASONS AMELIORE

FIG. 3



1100 Sweeping and measurement of the transmitted amplitudes  
1200 Mapping  
1300 Determination of gain corrections  
2100 Corrected gain sweeping and measurement of transmitted amplitude  
2200 Mapping  
2300 Display  
2400 Detection and dimensioning of anomalies

(57) Abstract : The invention relates to a method for inspecting an object by means of ultrasound transmission, comprising the steps consisting in: sweeping an ultrasound beam over a reference part that has the same geometry as the object to be inspected, and measuring the amplitude (1100) transmitted through the part in order to obtain (1200) a mapping thereof, the ultrasound beam being amplified with a reference gain; determining (1300) gain corrections to be added to the reference gain at certain points during the sweeping of the reference part in order to obtain an ultrasound beam amplitude transmitted through the part which is constant at each point of the mapping; and sweeping an ultrasound beam over the object to be inspected and measuring the transmitted amplitude (2100), the gain applied to the various points during the sweeping corresponding to the reference gain corrected on the basis of said corrections.

(57) Abrégé : L'invention propose un procédé d'inspection d'un objet par transmission d'ultrasons, comprenant les étapes consistant à: -mettre en œuvre un balayage d'un faisceau d'ultrasons sur une pièce de référence présentant une géométrie identique à l'objet à inspecter, et une mesure de l'amplitude (1100) transmise à travers la pièce pour en déduire (1200) une cartographie, le faisceau d'ultrasons étant amplifié avec un gain de référence, -déterminer (1300) des corrections de gain à apporter au gain de référence en des points du balayage de la pièce de référence pour obtenir une amplitude du faisceau d'ultrasons transmise

[Suite sur la page suivante]



---

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

---

à travers la pièce constante pour tous les points de la cartographie, -mettre en œuvre un balayage d'un faisceau d'ultrasons sur l'objet à inspecter et une mesure de l'amplitude transmise (2100), le gain appliqué aux différents points du balayage correspondant au gain de référence corrigé à partir desdites corrections.

## PROCEDE D'INSPECTION PAR TRANSMISSION D'ULTRASONS AMELIORE

### DOMAINE DE L'INVENTION

L'invention concerne le domaine des procédés d'inspections non destructives d'objets par transmission d'ultrasons pour y déceler des anomalies internes, tels que des porosités, délaminages, fissures,... présentes dans le volume de l'objet inspecté ou des défauts de collage dans le cas où l'objet inspecté est formé par l'association de plusieurs pièces.

L'invention s'applique notamment à l'inspection de pièces à géométrie complexe telles que des aubes et des carters d'aubes de turbomachines.

### ETAT DE LA TECHNIQUE

On connaît déjà différentes techniques de contrôle non destructif par ultrasons. Une technique connue est le contrôle par réflexion, au cours de laquelle on effectue un balayage d'un objet à inspecter avec un faisceau d'ultrasons à un gain déterminé, et on mesure l'amplitude du faisceau réfléchi par l'objet pour détecter d'éventuelles altérations dans la structure interne de l'objet.

Cependant, le procédé de contrôle par réflexion d'ultrasons n'est pas adapté pour des objets réalisés en un matériau absorbant fortement les ultrasons, tel que par exemple les matériaux composites. Or on a désormais recours aux matériaux composites pour fabriquer des éléments de turbomachines, comme par exemple des aubes ou des carters d'aubes.

Dans ce cas, un procédé d'inspection plus adapté est le contrôle ultrasons par transmission en utilisant la représentation de type « C-Scan ». Cela implique un accès à deux faces opposées de la pièce à contrôler. Le récepteur est alors disposé en face de l'émetteur et il recueille l'énergie qui a été transmise à travers la pièce. Les réflecteurs tels que les interfaces ou anomalies, seront détectés par une diminution de cette énergie, mais il n'est pas possible de les localiser dans l'épaisseur de la pièce.

A partir de cette mesure d'amplitude, on réalise ensuite une cartographie représentant une projection de l'objet inspecté selon la direction du faisceau d'ultrasons, dont chaque point est coloré en fonction de l'amplitude. Une telle cartographie, réalisée au niveau d'un bord d'attaque d'aube de turbomachine, est

représentée en figure 4a. Les zones plus sombres correspondent à des zones où l'amplitude du faisceau d'ultrasons transmis est faible, c'est-à-dire où l'atténuation est grande.

Or, la diminution de l'amplitude du faisceau d'ultrasons dépend à la fois de l'épaisseur de matériau traversé et des défauts éventuellement rencontrés ; par exemple, si une cavité se trouve dans l'objet inspecté, sur la trajectoire du faisceau d'ultrasons, le faisceau d'ultrasons n'est pas transmis au travers de cette cavité, et l'amplitude transmise au niveau de cette cavité est donc très diminuée par rapport à l'amplitude d'émission initiale.

Dans le cas où l'objet inspecté présente une géométrie complexe, ce qui est le cas par exemple d'aubes de turbomachines, ou de carters d'aubes, il est donc impossible, avec le procédé d'inspection par transmission d'ultrasons, de faire la différence entre une zone présentant un défaut et une zone où l'épaisseur de matériau à traverser est importante, ou encore un désalignement des sondes dû à la géométrie de la pièce.

Par exemple, sur la figure 5a, la partie gauche de la figure correspond au pied de l'aube et la partie droite correspond à la tête de l'aube, cette aube étant représentée sur la figure 1. L'extrémité gauche de la cartographie sur la figure 5a correspondant au pied de l'aube présente une coloration foncée, indiquant une forte absorption des ultrasons à ce niveau de l'aube. Or, cette forte absorption peut être liée à un défaut dans ce pied où découler de l'épaisseur de l'aube à ce niveau, mais il n'est pas possible de le déterminer avec cette cartographie.

Il existe donc un besoin pour un procédé d'inspection d'un objet permettant de s'affranchir de la complexité de la géométrie de l'objet inspecté, et permettant d'identifier des défauts dans la structure de l'objet inspecté indépendamment de l'épaisseur de l'objet.

Pour ce faire, un procédé pourrait comprendre des balayages multiples d'une même pièce avec des faisceaux d'ultrasons présentant à chaque balayage et chaque pas un gain différent. Cependant, puisque toutes les pièces doivent être inspectées avant d'être utilisées, ce procédé engendrerait une perte de temps trop importante.

## PRESENTATION DE L'INVENTION

L'invention a pour but de proposer un procédé d'inspection d'un objet permettant d'identifier immédiatement des défauts présents dans la structure de  
5 l'objet.

Un autre but de l'invention est de pouvoir être utilisée quelle que soit la géométrie de l'objet inspecté.

A cet égard, l'invention a pour objet un procédé d'inspection d'un objet par  
10 transmission d'ultrasons, dans lequel on met en œuvre un balayage dudit objet par un faisceau d'ultrasons et une mesure de l'amplitude du faisceau d'ultrasons transmis à travers ledit objet, ladite mesure comprenant la conversion du faisceau d'ultrasons en signal électrique, l'application d'un gain d'amplification audit signal et la mesure de l'amplitude dudit signal, afin d'en déduire une cartographie dans  
15 laquelle chaque point d'une surface de projection dudit objet selon la direction d'exposition est associé à l'amplitude du faisceau d'ultrasons transmise audit point à travers ledit objet, le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à :

- mettre en œuvre ledit balayage et ladite mesure d'amplitude sur une pièce  
20 de référence présentant une géométrie identique à l'objet à inspecter, afin d'en déduire une cartographie de ladite pièce, le gain d'amplification appliqué pour la mesure d'amplitude étant un gain de référence prédéterminé,
- déterminer, pour une pluralité de points de la cartographie de la pièce de  
25 référence, des corrections de gain à apporter au gain de référence aux points correspondants du balayage pour obtenir une amplitude du faisceau d'ultrasons transmise à travers la pièce de référence constante pour l'ensemble des points de la cartographie,
- mettre en œuvre ledit balayage et ladite mesure d'amplitude sur l'objet à  
30 inspecter, en appliquant aux différents points du balayage un gain d'amplification correspondant au gain de référence corrigé à partir des corrections de gain précédemment déterminées.

Avantageusement, mais facultativement, le procédé selon l'invention présente en outre au moins l'une des caractéristiques suivantes :

- 5       - on déduit de ladite mesure d'amplitude sur l'objet à inspecter une cartographie de l'objet et on analyse la cartographie ainsi obtenue afin de détecter une éventuelle anomalie quant à l'amplitude transmise à travers l'objet.
- 10       - l'objet à inspecter et la pièce de référence sont axisymétriques, la direction d'exposition du faisceau d'ultrasons est radiale par rapport à l'axe de symétrie, et la pièce de référence est balayée selon une ligne de ladite pièce à l'intersection de la surface de la pièce de référence avec un plan radial.
- 15       - l'objet à inspecter et la pièce de référence comprennent du matériau composite.
- l'amplitude constante transmise à travers la pièce de référence est supérieure à 60% de l'amplitude du faisceau d'ultrasons émis, et est  
avantageusement comprise entre 70 et 90% de ladite amplitude, et de  
préférence égale à 80% de ladite amplitude.
- la correction de gain à apporter au gain de référence en un point du  
balayage est déterminée simultanément au balayage du point correspondant  
de la pièce de référence.

20

L'invention porte également sur une utilisation du procédé d'inspection pour l'inspection d'une aube, notamment une aube formée en matériau composite et comprenant en outre un renfort en métal collé sur son bord d'attaque, ledit procédé permettant de détecter d'éventuelles anomalies de collage ou encore pour  
25 l'inspection d'un carter d'aubage.

L'invention a également pour objet un système d'inspection d'un objet par transmission d'ultrasons, pour la mise en œuvre du procédé d'inspection qui précède, comprenant :

- 30       - une sonde d'émission d'un faisceau d'ultrasons et des moyens de pilotage du balayage de la sonde, adaptés pour mettre en œuvre un balayage dudit objet par un faisceau d'ultrasons émis par la sonde,
- un récepteur d'ultrasons, adapté pour convertir le faisceau d'ultrasons transmis à travers ledit objet en signal électrique, et

- une unité de traitement, comprenant un amplificateur adapté pour appliquer un gain d'amplification au signal électrique obtenu par le récepteur, et une unité de commande configurée pour mesurer l'amplitude du signal amplifié et pour déduire de ladite mesure d'amplitude une cartographie dans laquelle  
5 chaque point d'une surface de projection dudit objet selon la direction d'exposition est associé à l'amplitude transmise audit point à travers ledit objet,

le système étant caractérisé en ce que l'unité de commande est en outre adaptée pour déterminer, pour une pluralité de points d'une cartographie réalisée à partir du  
10 balayage d'une pièce de référence par un faisceau d'ultrasons à un gain de référence prédéterminé, des corrections de gain à apporter au gain de référence aux points correspondants du balayage pour obtenir une amplitude ( $A_c$ ) constante transmise à travers la pièce de référence pour l'ensemble des points de la cartographie,

15 et pour commander l'amplificateur afin d'appliquer, lors du balayage et de ladite mesure d'amplitude sur l'objet à inspecter, aux différents points du balayage du faisceau d'ultrasons, un gain d'amplification correspondant au gain de référence corrigé en fonction des corrections de gain ainsi déterminées.

20 Le procédé d'inspection proposé permet de s'affranchir de la géométrie d'un objet, pour que des diminutions d'énergie représentées sur la cartographie résultant de l'inspection ne soient liées qu'à des défauts structuraux de l'objet.

En effet, le fait d'utiliser une pièce de référence, dont on sait qu'elle est exempte de défauts, permet d'adapter le gain du signal de réception du faisceau  
25 d'ultrasons à l'épaisseur de l'objet inspecté au niveau du point d'exposition. Ainsi, l'amplitude du faisceau d'ultrasons est modifiée pour que l'objet paraisse présenter une épaisseur constante. Il en résulte que les variations d'amplitude transmise ne peuvent provenir que de défauts de l'objet inspecté, les variations liées à l'épaisseur de l'objet étant supprimées.

30 Ce procédé permet donc d'inspecter plus rapidement et avec une fiabilité améliorée des pièces présentant une géométrie complexe.

## DESCRIPTION DES FIGURES

D'autres caractéristiques, buts et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre, au regard des

5 figures annexées, données à titre d'exemples non limitatifs et sur lesquelles :

- La figure 1, déjà décrite, représente une aube de turbomachine,
- La figure 2 représente schématiquement un système d'inspection par transmission d'ultrasons,
- La figure 3 représente les principales étapes d'un procédé d'inspection par transmission d'ultrasons,
- 10 - Les figures 4a et 4b représentent respectivement les cartographies d'une aube de référence obtenues avant et après correction du gain du signal de réception des ultrasons,
- Les figures 5a et 5b (la figure 5a étant déjà décrite) représentent respectivement les cartographies d'une aube inspectée obtenues avant et après correction du gain du signal de réception des ultrasons,
- 15 - La figure 6 représente un profil axial d'un carter d'aubage de turbomachine,
- Les figures 7a et 7b représentent respectivement les cartographies d'une bride de carter d'aubage obtenues avant et après correction du gain du signal de réception des ultrasons,
- 20 - Les figures 8a et 8b représentent respectivement les cartographies d'un carter d'aubage inspecté obtenues avant et après correction du gain du signal de réception des ultrasons.

25 DESCRIPTION DETAILLÉE D'AU MOINS UN MODE DE MISE EN ŒUVRE DE L'INVENTION

En référence à la figure 2, on a représenté schématiquement un système 100 d'inspection d'un objet O par transmission d'ultrasons utilisé pour la mise en œuvre du procédé décrit ci-après.

30 Ce système comprend une sonde 110 d'émission d'un faisceau d'ultrasons, qui est déplacée selon un trajet prédéterminé par des moyens de pilotage 120 du balayage de ladite sonde.

De l'autre côté de l'objet O sondé est positionné le récepteur 130.



La sonde 110 et le récepteur 130 sont des transducteurs piézoélectriques, aptes à convertir un signal électrique en onde mécanique et réciproquement. Par conséquent, les rôles de la sonde et du récepteur peuvent être inversés.

En l'occurrence, la sonde est excitée électriquement par un signal fourni par  
5 un générateur 141 d'une unité de traitement 140 pour émettre des ondes ultrasonores, et le récepteur 130 convertit les ondes ultrasonores s'étant propagées au travers de l'objet sondé en un signal électrique.

L'amplitude du faisceau d'ultrasons transmis à travers l'objet est mesurée comme suit. Le signal électrique converti par le récepteur est transmis à l'unité de  
10 traitement 140, qui comporte un amplificateur 142 pour amplifier le signal électrique avec un gain voulu, ledit gain correspondant à un gain en amplitude du faisceau d'ultrasons transmis à travers l'objet O. L'unité de traitement comporte en outre une unité de commande 143, pouvant être avantageusement un processeur, qui mesure ensuite l'amplitude du signal électrique ainsi amplifié, ladite amplitude  
15 correspondant à l'amplitude du faisceau d'ultrasons.

L'unité de commande 143 est en outre adaptée pour associer à chaque point du balayage de l'objet sondé l'amplitude du faisceau d'ultrasons transmis à travers l'objet au niveau dudit point du balayage. Dans la présente, on entend par le mot  
20 « cartographie » cette mise en relation des points avec l'amplitude respective, qu'elle soit ou non suivie d'un affichage de l'objet en deux-dimensions représentant chaque point du balayage en une couleur particulière dépendant de son amplitude transmise.

Avantageusement, mais facultativement, le système d'inspection 100 comprend en outre un afficheur 150 permettant de représenter ladite cartographie.

25 L'unité de commande 142 est également adaptée pour commander le gain apporté par l'amplificateur 142 au faisceau d'ultrasons reçu par le récepteur 130, comme on va le voir ci-après.

En référence à la figure 3, on a représenté les principales étapes d'un  
30 procédé d'inspection d'un objet par transmission d'ultrasons, mis en œuvre par le système précédemment décrit.

Ce procédé comprend la mise en œuvre d'un contrôle d'objet par transmission d'ultrasons de type « C-Scan », comprenant une première étape de mesure, au cours de laquelle on balaye un objet à inspecter avec un faisceau

d'ultrasons, en amplifiant le signal reçu à partir des ultrasons transmis à travers l'objet un gain déterminé, et on mesure l'amplitude du faisceau d'ultrasons transmis à travers l'objet après amplification, et une seconde étape d'interprétation, au cours de laquelle, à partir de ces mesures d'amplitude, on établit une cartographie de l'objet en deux-dimensions, cette cartographie étant une projection de l'objet inspecté selon la direction d'exposition du faisceau d'ultrasons. L'objet y est représenté en couleurs ou en nuances de gris, chaque point de la cartographie étant associé, par sa couleur, à l'amplitude du faisceau d'ultrasons transmise à travers ledit objet.

10 Ce contrôle est d'abord mis en œuvre sur une pièce de référence au cours d'une étape d'initialisation 1000, pour en déduire, pour cette pièce, des corrections de gain du signal transmis à apporter au gain de l'amplificateur 142, afin que l'amplitude des ultrasons transmis à travers ladite pièce soit constante.

15 Puis le procédé comprend une étape d'inspection 2000 proprement dite de chaque objet O à inspecter, comprenant la mise en œuvre d'un contrôle de type « C-Scan » en utilisant comme gain de réception des ultrasons le gain corrigé à partir des corrections déterminées lors de l'étape d'initialisation.

20 On va maintenant décrire de manière détaillée l'étape d'initialisation 1000 réalisée sur une pièce de référence.

La pièce de référence est une pièce présentant la même géométrie, c'est-à-dire les mêmes dimensions, que l'objet à inspecter. Par exemple, si l'objet à inspecter est une aube de turbomachine, la pièce de référence est une aube de même conception.

25 De plus la pièce de référence doit avoir été sélectionnée et contrôlée par d'autres moyens pour vérifier qu'elle ne comporte pas de défaut.

Au cours d'une première sous-étape 1100, la pièce de référence est balayée par un faisceau d'ultrasons émis par la sonde avec une amplitude  $A_s$  prédéterminée.

30 Le récepteur reçoit le faisceau d'ultrasons et transmet un signal électrique correspondant à l'unité de traitement.

L'unité de commande 143 de l'unité de traitement mesure l'amplitude transmise  $A_t$  des ultrasons pour un gain de référence  $P_{ref}$  prédéterminé de l'amplificateur 142 au travers de ladite pièce en chaque point du balayage et en

déduit au cours d'une sous-étape 1200 une cartographie associant à chaque point du balayage l'amplitude transmise au niveau dudit point.

L'unité de commande détermine alors au cours d'une sous-étape 1300, en chaque point du balayage, le gain d'amplification de l'énergie reçue  $G_c$  qui devrait être sélectionné pour que l'amplitude des ultrasons transmis à travers ladite pièce soit constante pour tous les points du balayage, et en déduit une liste de corrections à apporter au gain de référence  $G_{ref}$  en chaque point du balayage pour obtenir le gain corrigé  $G_c$ .

Cette détermination des corrections de gain peut être réalisée une fois que l'ensemble du balayage de la pièce a été réalisé. Alternativement, et de préférence, la détermination des corrections de gain peut être réalisée en temps réel, c'est-à-dire que la détermination et l'application d'une correction de gain à apporter au gain de référence  $G_{ref}$  au niveau d'un point du balayage de la pièce est déterminée au moment du balayage dudit point par l'unité de commande 143.

L'amplitude constante  $A_c$  transmise avec le gain corrigé est de préférence supérieure à 60% de l'amplitude  $A_s$  des ultrasons émis par la sonde, pour permettre ensuite une bonne résolution des données acquises. Avantageusement, l'amplitude avec le gain corrigé est comprise entre 70 et 90% de l'amplitude  $A_s$  des ultrasons émis, et préférablement de l'ordre de 80%. Ceci représente un bon compromis entre l'amplitude et la résolution obtenue.

Ainsi on obtient un tableau analogue à celui représenté ci-après, dans lequel on associe à chaque point du balayage une correction de gain en fonction de l'amplitude transmise lors du contrôle de la pièce de référence :

Point	1	2	3	4	...	N
Energie / amplitude transmise $A_t$ avant correction en % de l'amplitude $A_s$	95	80	70	60	...	5
Correction en décibels (dB)	-X	+ 0	+Y	+Z	...	+P
Energie / amplitude transmise après correction $A_c$ en % l'amplitude $A_s$	80	80	80	80	80	80

Le fait d'obtenir une amplitude transmise corrigée  $A_c$  constante pour la pièce de référence permet de s'affranchir des variations d'épaisseur de la pièce au niveau des différents points de balayage. Par conséquent, en appliquant ultérieurement un gain corrigé  $G_c$  à partir desdites corrections sur un objet à contrôler présentant la même géométrie que la pièce de référence, les seules variations de l'amplitude transmise résulteront directement de défauts dans la structure de l'objet contrôlé.

On a représenté en figure 4a une cartographie obtenue pour la pièce de référence en appliquant le gain de référence  $G_{ref}$  des ultrasons, et en figure 4b le gain corrigé  $G_c$ . On observe bien sur la cartographie que les variations dans l'amplitude transmise dues aux variations d'épaisseur de la pièce sont supprimées, et que l'amplitude transmise  $A_c$  après correction est constante.

De retour à la figure 3, on va maintenant décrire l'étape d'inspection 2000 d'un objet.

Comme indiqué précédemment, cet objet doit présenter la même géométrie et la même structure que la pièce de référence, pour que la liste des corrections établie pour les points de balayage soit valable.

Au cours d'une sous-étape 2100, l'objet est balayé par un faisceau d'ultrasons, dont le gain en chaque point du balayage est le gain corrigé  $G_c$ , c'est-à-dire le gain de référence  $G_{ref}$  auquel on a ajouté les corrections déterminées ci-avant.

Le récepteur capte le faisceau ultrasonore et l'unité de commande mesure l'amplitude du signal amplifié avec le gain corrigé.

Au cours d'une sous-étape 2200, l'unité de commande 143 réalise une cartographie de l'objet sondé, en associant à chaque point du balayage l'amplitude des ultrasons transmis à travers l'objet et reçus par le récepteur. Avantageusement, cette cartographie est représentée sur l'afficheur au cours d'une étape 2300, chaque point du balayage étant représenté avec une couleur ou une nuance de gris représentative du taux d'atténuation de l'amplitude transmise, ou de l'amplitude transmise elle-même.

On a représenté en figures 5a et 5b les cartographies obtenues pour une aube de turbomachine, respectivement avec un gain de réception des ultrasons non corrigé et corrigé.

Cette aube de turbomachine 10 est réalisée en matériau composite et présente un renfort métallique 11 sur son bord d'attaque, comme représenté sur la figure 1. Le procédé d'inspection est utilisé notamment pour identifier des défauts de collage du renfort sur le bord d'attaque. A cet égard, des défauts de collage ont été  
5 simulés dans l'aube testée des figures 5a et 5b en positionnant des inserts en matériau absorbant entre le bord d'attaque de l'aube et le renfort métallique.

On observe sur la figure 5b que les inserts sont beaucoup plus visibles, et leur forme plus nette, une fois les corrections de gain appliquées au signal de réception des ultrasons.

10 L'analyse de la cartographie obtenue, réalisée au cours d'une étape 2400, soit par un opérateur, soit de manière automatique, par exemple par mise en place d'un seuil d'amplitude transmise et comparaison des valeurs acquises aux différents points du balayage par rapport audit seuil, permet de détecter ou de visualiser très facilement sur les figures des anomalies à partir de l'amplitude transmise à travers  
15 la pièce pouvant correspondre à des défauts dans la structure interne des objets examinés. Ce procédé permet donc de repérer des défauts plus rapidement que les procédés proposés jusqu'à présent.

De plus, une fois l'établissement des corrections de gain réalisées pour une géométrie donnée, ces corrections sont applicables à toutes les pièces de même  
20 géométrie. L'étape d'inspection 2000 peut donc être répétée pour chaque nouvel objet à inspecter, sans avoir besoin de réitérer l'étape 1000, comme représenté sur la figure 3 avec les étapes 2000' et 2000''.

Selon un mode de réalisation particulier, la pièce de référence et l'objet  
25 inspecté sont axisymétriques, c'est-à-dire symétrique de révolution autour d'un axe, leur surface résultant ainsi de la révolution d'une ligne autour de l'axe de symétrie. C'est le cas par exemple d'un carter d'aubage de turbomachine.

Les variations d'épaisseur d'une telle pièce dans la direction radiale autour de l'axe sont donc identiques sur toute la circonférence de la pièce. On a à cet  
30 égard illustré en figure 6 un exemple de profil de variation d'épaisseur d'un carter de turbomachine.

Dans ce cas, on peut simplifier la mise en œuvre de l'étape 1000 d'initialisation du procédé en déterminant une liste de corrections de gain à apporter

seulement pour un profil radial de la pièce, ces corrections de gain étant transposables à toute la circonférence de la pièce.

Par conséquent, au cours de l'étape 1100 de balayage de la pièce de référence par un faisceau d'ultrasons, la direction d'exposition du faisceau d'ultrasons est radiale par rapport à l'axe de symétrie, et la pièce de référence est balayée selon une ligne de ladite pièce à l'intersection de la surface de la pièce de référence avec un plan radial. Avantageusement, la pièce de référence est balayée selon une unique ligne, mais on peut également réitérer le balayage sur plusieurs lignes pour vérifier les corrections de gain obtenues.

10 Ensuite, lors de l'étape 2000 d'inspection de l'objet, l'ensemble de l'objet axisymétrique à inspecter est sondé selon des lignes de balayage du faisceau d'ultrasons identiques à la ligne de balayage réalisée pour établir les corrections de gain, en appliquant à chaque point de ladite ligne la correction correspondante.

Le procédé est particulièrement adapté à l'inspection de carters d'aubage de turbomachine en matériau composite, pour détecter des défauts de type porosités et délaminages dans le matériau, y compris au niveau de la bride permettant de fixer le carter à d'autres éléments de la turbomachine, cette bride présentant un encombrement rendant impossible son inspection dans le rayon faible (angle de 90°) et provoquant un désalignement des sondes entraînant une perte du signal.

20 On a représenté en figures 7a et 7b une cartographie obtenue pour la bride d'un carter d'aubage avant et après application des corrections de gain ; l'image obtenue avec une amplitude corrigée permet de localiser et dimensionner beaucoup plus simplement les défauts présents dans la pièce.

De même, sur les figures 8a et 8b, on a représenté une cartographie obtenue pour le carter, au niveau de la veine de celui-ci, avant et après application des corrections de gain. Les défauts carrés dans la structure du carter sont également bien plus visibles.

Le procédé d'inspection d'objets proposé n'est nullement limité à un type d'objets à inspecter en particulier, mais s'applique avantageusement à des aubes de turbomachines ou à des carters d'aubage de turbomachine, ou à tout autre objet présentant une géométrie complexe avec de nombreuses variations d'épaisseurs.

Plus généralement, l'invention est applicable à tout objet réalisé en matériau présentant un fort taux d'absorption des ultrasons tel qu'en un matériau composite, et en particulier dans un matériau composite tissé 3D ou 3D interlock, c'est-à-dire  
5 comprenant une structure de renfort prise dans une matrice, par exemple en matériau polymère.

Le procédé permet donc de contrôler facilement ces objets, et même de visualiser immédiatement les défauts qu'ils peuvent comporter.

## REVENDEICATIONS

1. Procédé d'inspection d'un objet (O) par transmission d'ultrasons, dans lequel on met en œuvre un balayage dudit objet par un faisceau d'ultrasons et une mesure de l'amplitude du faisceau d'ultrasons transmis à travers ledit objet (O), ladite mesure comprenant la conversion du faisceau d'ultrasons en signal électrique, l'application d'un gain d'amplification audit signal et la mesure de l'amplitude dudit signal, afin d'en déduire une cartographie dans laquelle chaque point d'une surface de projection dudit objet selon la direction d'exposition est associé à l'amplitude du faisceau d'ultrasons transmise audit point à travers ledit objet, le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à :
- mettre en œuvre ledit balayage et ladite mesure d'amplitude (1100) sur une pièce de référence présentant une géométrie identique à l'objet à inspecter, afin d'en déduire (1200) une cartographie de ladite pièce, le gain d'amplification appliqué pour la mesure d'amplitude étant un gain de référence prédéterminé ( $G_{ref}$ ),
  - déterminer (1300), pour une pluralité de points de la cartographie de la pièce de référence, des corrections de gain à apporter au gain de référence ( $G_{ref}$ ) aux points correspondants du balayage pour obtenir une amplitude du faisceau d'ultrasons ( $A_c$ ) transmise à travers la pièce de référence constante pour l'ensemble des points de la cartographie,
  - mettre en œuvre ledit balayage et ladite mesure d'amplitude (2100) sur l'objet à inspecter (O), en appliquant aux différents points du balayage un gain d'amplification ( $G_c$ ) correspondant au gain de référence ( $G_{ref}$ ) corrigé à partir des corrections de gain précédemment déterminées.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel on déduit de ladite mesure d'amplitude sur l'objet à inspecter (O) une cartographie de l'objet (2200) et on analyse (2300) la cartographie ainsi obtenue afin de détecter une éventuelle anomalie quant à l'amplitude transmise à travers l'objet.
3. Procédé d'inspection selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'objet à inspecter et la pièce de référence sont axisymétriques, la direction d'exposition du faisceau d'ultrasons est radiale par rapport à l'axe de symétrie, et la



pièce de référence est balayée selon une ligne de ladite pièce à l'intersection de la surface de la pièce de référence avec un plan radial.

4. Procédé d'inspection selon l'une des revendications précédentes, dans lequel  
5 l'objet à inspecter et la pièce de référence comprennent du matériau composite.

5. Procédé d'inspection selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'amplitude constante transmise ( $A_c$ ) à travers la pièce de référence est supérieure à 60% de l'amplitude du faisceau d'ultrasons émis ( $A_s$ ), et est avantageusement  
10 comprise entre 70 et 90% de ladite amplitude, et de préférence égale à 80% de ladite amplitude.

6. Procédé d'inspection selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la correction de gain à apporter au gain de référence ( $G_{ref}$ ) en un point du balayage est  
15 déterminée simultanément au balayage du point correspondant de la pièce de référence.

7. Utilisation du procédé selon l'une des revendications précédentes, pour l'inspection d'une aube (10).  
20

8. Utilisation du procédé selon la revendication 3 pour l'inspection d'un carter d'aubage.

9. Utilisation du procédé selon l'une des revendications 1 à 6, pour l'inspection  
25 d'une aube (10) de soufflante de turbomachine, ladite aube étant formée en matériau composite et comprenant en outre un renfort en métal (11) collé sur son bord d'attaque, ledit procédé permettant de détecter d'éventuelles anomalies de collage.

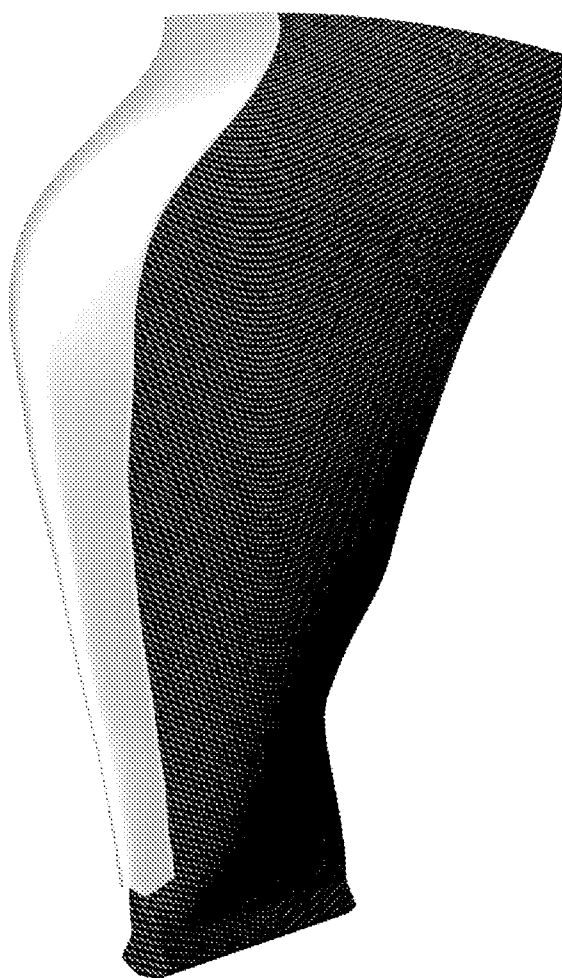
30 10. Système d'inspection (100) d'un objet par transmission d'ultrasons, pour la mise en œuvre du procédé selon l'une des revendications 1 à 6, comprenant :

- une sonde d'émission (110) d'un faisceau d'ultrasons et des moyens de pilotage (120) du balayage de la sonde, adaptés pour mettre en œuvre un balayage dudit objet par un faisceau d'ultrasons émis par la sonde,

- un récepteur d'ultrasons (130), adapté pour convertir le faisceau d'ultrasons transmis à travers ledit objet en signal électrique, et
  - une unité de traitement (140), comprenant un amplificateur (142) adapté pour appliquer un gain d'amplification au signal électrique obtenu par le récepteur (130), et une unité de commande (143) configurée pour mesurer l'amplitude du signal amplifié et pour déduire de ladite mesure d'amplitude une cartographie dans laquelle chaque point d'une surface de projection dudit objet selon la direction d'exposition est associé à l'amplitude transmise audit point à travers ledit objet,
- le système étant caractérisé en ce que l'unité de commande (143) est en outre adaptée pour déterminer, pour une pluralité de points d'une cartographie réalisée à partir du balayage d'une pièce de référence par un faisceau d'ultrasons à un gain de référence prédéterminé ( $G_{ref}$ ), des corrections de gain à apporter au gain de référence ( $G_{ref}$ ) aux points correspondants du balayage pour obtenir une amplitude ( $A_c$ ) constante transmise à travers la pièce de référence pour l'ensemble des points de la cartographie,
- et pour commander l'amplificateur (142) afin d'appliquer, lors du balayage et de ladite mesure d'amplitude sur l'objet à inspecter, aux différents points du balayage du faisceau d'ultrasons, un gain d'amplification ( $G_c$ ) correspondant au gain de référence ( $G_{ref}$ ) corrigé en fonction des corrections de gain ainsi déterminées.

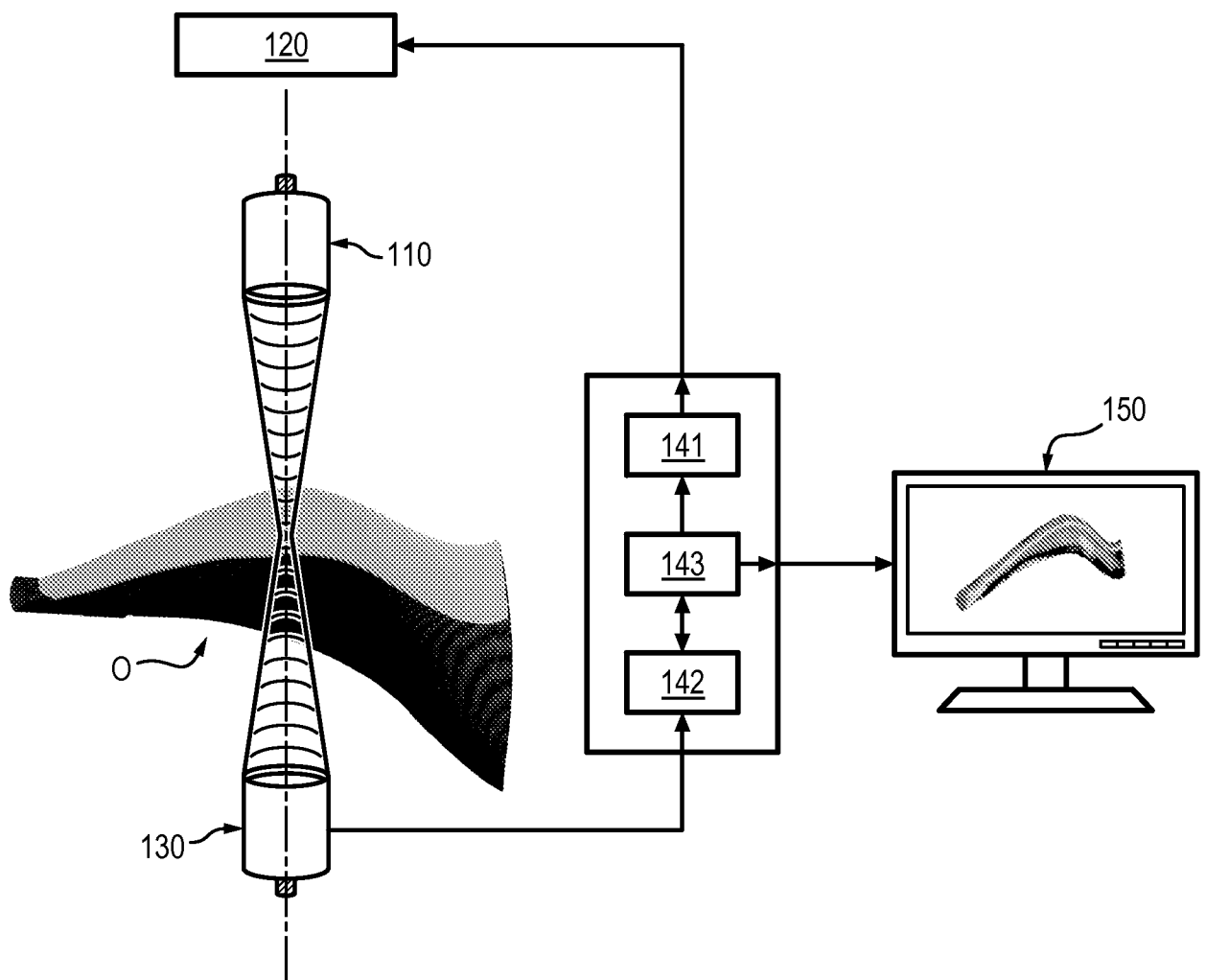
1/5

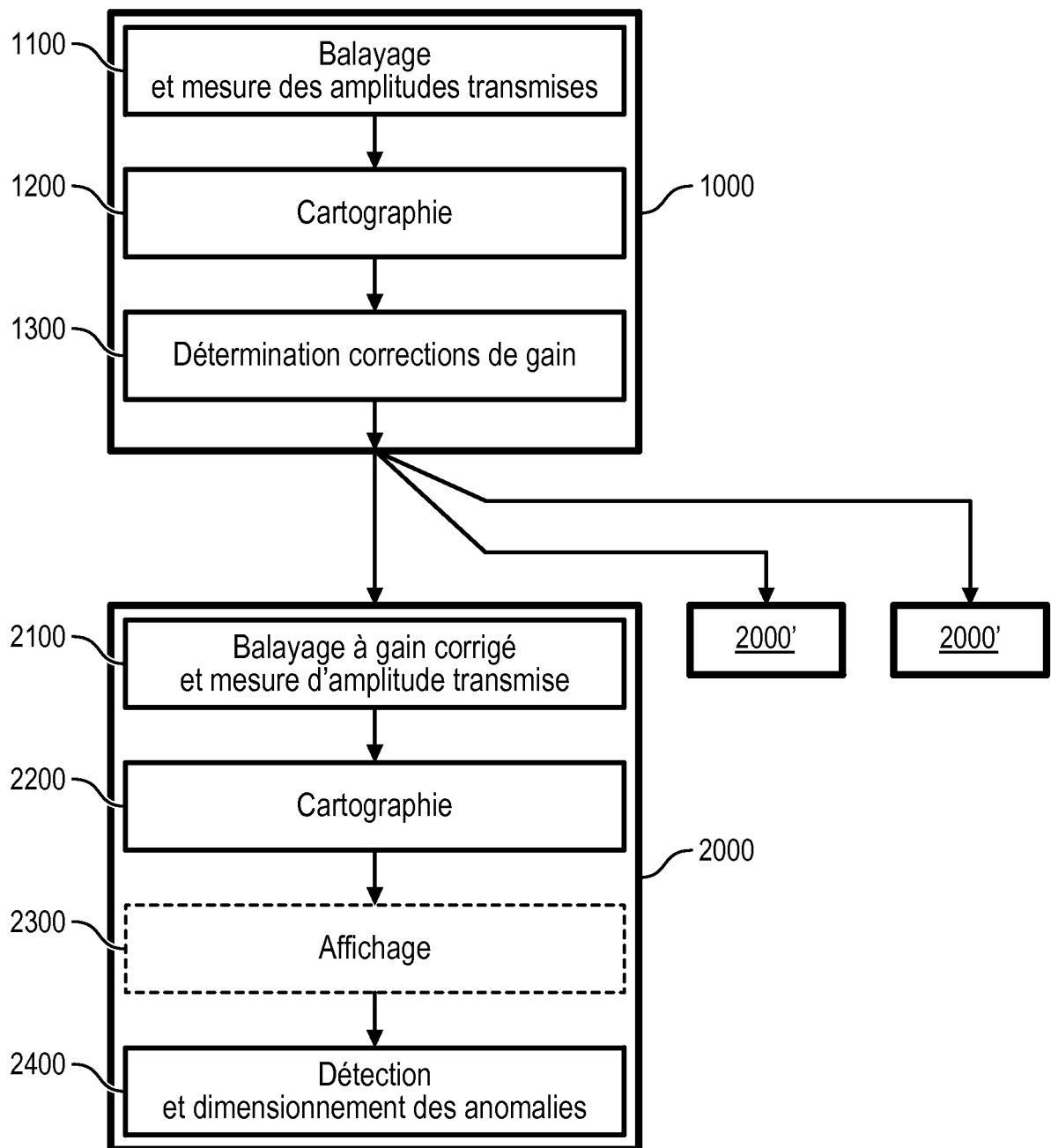
FIG. 1



2/5

FIG. 2



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

4/5

FIG. 4a

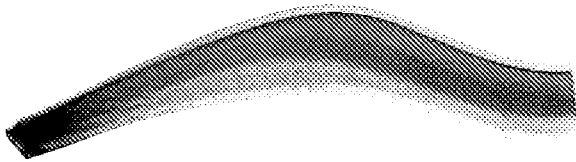


FIG. 4b

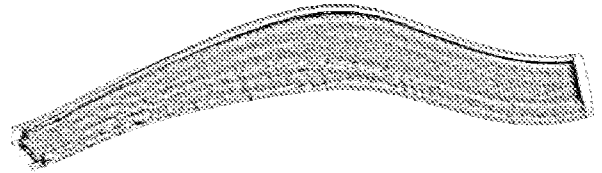


FIG. 5a

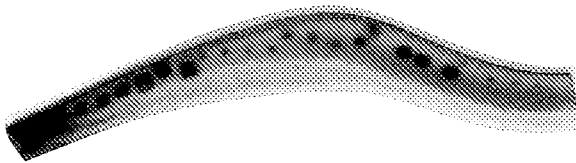
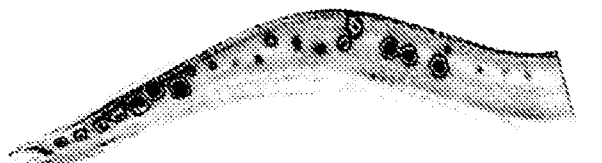


FIG. 5b



5/5

FIG. 6



FIG. 7a

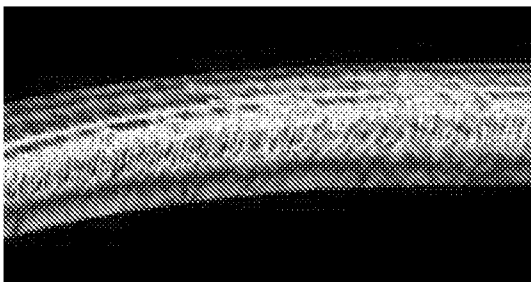


FIG. 7b

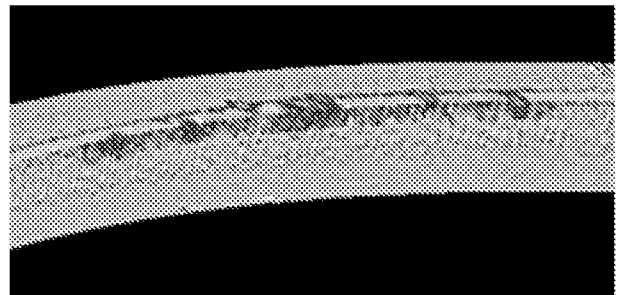


FIG. 8a

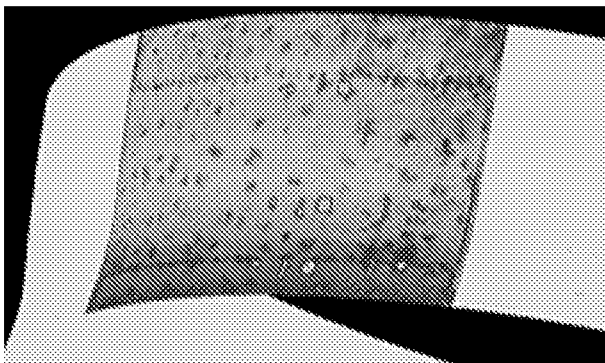
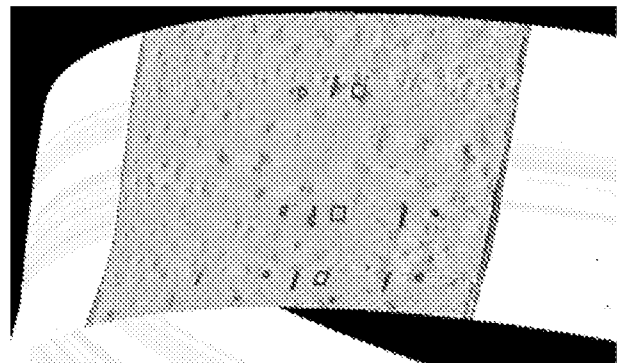


FIG. 8b



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2014/051202

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G01N29/11 G01N29/44  
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 102 58 336 B3 (EUROCOPTER DEUTSCHLAND [DE]) 15 April 2004 (2004-04-15) paragraphs [0002], [0005], [0015], [0021] - [0023], [0029], [0030], [0035]; figure 1	1-10
A	----- US 4 004 454 A (MATAY ISTVAN M) 25 January 1977 (1977-01-25) abstract column 2, lines 20-22,40-51 column 3, lines 25-29 column 4, lines 1-24	1,10
A	----- US 2007/051177 A1 (GIFFORD CARL B [US] ET AL) 8 March 2007 (2007-03-08) paragraphs [0011], [0031]; claims 1,11,12	1-10
	----- -/-	



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

21 August 2014

Date of mailing of the international search report

29/08/2014

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Filipas, Alin



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2014/051202

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FR 2 959 817 A1 (SNECMA [FR]) 11 November 2011 (2011-11-11) abstract; claim 1; figures 2,3 page 1, lines 3-11 page 2, lines 10-15 page 3, lines 25-28 page 8, lines 3-10 -----	1-10

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2014/051202

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 10258336	B3	15-04-2004	NONE
US 4004454	A	25-01-1977	NONE
US 2007051177	A1	08-03-2007	GB 2444222 A 28-05-2008 US 2007051177 A1 08-03-2007 WO 2007030378 A1 15-03-2007
FR 2959817	A1	11-11-2011	FR 2959817 A1 11-11-2011 WO 2011141662 A1 17-11-2011

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2014/051202

<b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b> INV. G01N29/11      G01N29/44 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
<b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b> Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G01N		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	DE 102 58 336 B3 (EUROCOPTER DEUTSCHLAND [DE]) 15 avril 2004 (2004-04-15) alinéas [0002], [0005], [0015], [0021] - [0023], [0029], [0030], [0035]; figure 1 <div style="text-align: center;">-----</div>	1-10
A	US 4 004 454 A (MATAY ISTVAN M) 25 janvier 1977 (1977-01-25) abrégé colonne 2, ligne 20-22,40-51 colonne 3, ligne 25-29 colonne 4, ligne 1-24 <div style="text-align: center;">-----</div>	1,10
A	US 2007/051177 A1 (GIFFORD CARL B [US] ET AL) 8 mars 2007 (2007-03-08) alinéas [0011], [0031]; revendications 1,11,12 <div style="text-align: center;">-----</div> <div style="text-align: center;">-/-</div>	1-10
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents         </div> <div> <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe         </div> </div>		
<div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>* Catégories spéciales de documents cités:</p> <p>"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p> <p>"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p> <p>"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p> </div> <div style="flex: 1;"> <p>"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p> <p>"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p> <p>"&amp;" document qui fait partie de la même famille de brevets</p> </div> </div>		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée  <div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">21 août 2014</div>		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale  <div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">29/08/2014</div>
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé  <div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">Filipas, Alin</div>

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2014/051202

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>FR 2 959 817 A1 (SNECMA [FR])  11 novembre 2011 (2011-11-11)  abrégé; revendication 1; figures 2,3  page 1, ligne 3-11  page 2, ligne 10-15  page 3, ligne 25-28  page 8, ligne 3-10  -----</p>	1-10

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2014/051202

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 10258336	B3	15-04-2004	AUCUN	
US 4004454	A	25-01-1977	AUCUN	
US 2007051177	A1	08-03-2007	GB 2444222 A	28-05-2008
			US 2007051177 A1	08-03-2007
			WO 2007030378 A1	15-03-2007
FR 2959817	A1	11-11-2011	FR 2959817 A1	11-11-2011
			WO 2011141662 A1	17-11-2011