

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2013/189885 A1

(43) Date de la publication internationale
27 décembre 2013 (27.12.2013)

WIPO | PCT

- (51) Classification internationale des brevets :
G01N 29/07 (2006.01) G01N 29/44 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2013/062518
- (22) Date de dépôt international :
17 juin 2013 (17.06.2013)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
1255720 19 juin 2012 (19.06.2012) FR
- (71) Déposants : AIRBUS OPERATIONS (S.A.S.) [FR/—]; 316, route de Bayonne, F-31060 Toulouse (FR). EUROPEAN AERONAUTIC DEFENCE AND SPACE COMPANY EADS FRANCE [FR/FR]; 37, boulevard de Montmorency, F-75016 Paris (FR).
- (72) Inventeurs : METAYER, Patrick; 26, chemin du Pradas, F-31410 Mauzac (FR). PAGES, Marion; Appt 3, 18, rue Molière, F-31300 Toulouse (FR).
- (74) Mandataire : GICQUEL, Olivier; Airbus Opérations (S.A.S.), Département Propriété Intellectuelle, ETRT - M0101/1, 316, route de Bayonne, F-31060 Toulouse Cedex 9 (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, 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, 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).

Publiée :

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

(54) Title : NON-DESTRUCTIVE ULTRASOUND TESTING OF STRUCTURES MADE OF COMPOSITE MATERIAL

(54) Titre : CONTRÔLE NON-DESTRUCTIF PAR ULTRASONS DE STRUCTURES EN MATÉRIAU COMPOSITE

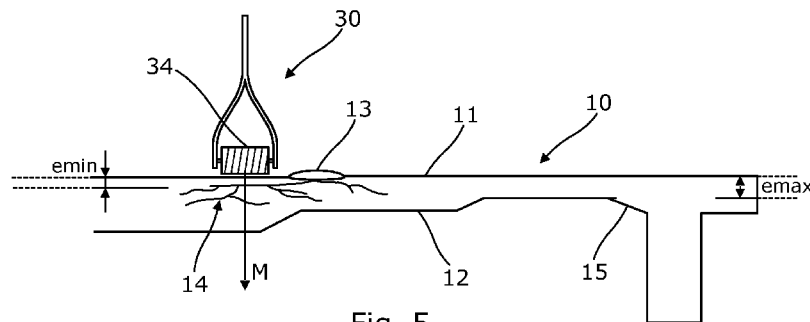


Fig. 5

(57) Abstract : The invention relates to a diagnostic apparatus 1 for detecting delamination in the thickness of a laminated composite panel. The diagnostic apparatus allows inspection of a panel having a non-constant thickness along its length. The diagnostic apparatus comprises an ultrasound probe 30 intended to be placed in contact with the front face of the panel to be inspected, an electronic device 40 for controlling the emission and the reception of ultrasound pulses 51 by the ultrasound probe 30, as well as a visualization device 41 furnished in particular with telltales as to the presence or otherwise of delamination in the panel.

(57) Abrégé : L'invention concerne un appareil de diagnostic 1 pour la détection d'un délaminage dans l'épaisseur d'un panneau en composite stratifié. L'appareil de diagnostic permet l'une inspection d'un panneau ayant une épaisseur non constante selon sa longueur. L'appareil de diagnostic comprend une sonde ultrasonore 30 destinée à être mise au contact de la face avant du panneau à inspecter, un dispositif électronique 40 pour commander l'émission et la réception d'impulsions ultrasonores 51 par la sonde ultrasonore 30, ainsi qu'un dispositif de visualisation 41 muni notamment de témoins quant à la présence ou non de délaminage dans le panneau.



WO 2013/189885 A1

Contrôle non-destructif par ultrasons de structures en matériau composite.

La présente invention appartient au domaine du contrôle non-destructif de structures, et concerne plus particulièrement un dispositif et un procédé pour un contrôle non-destructif par ultrasons de structures en matériau composite stratifié, comme par exemple des panneaux servant à réaliser le fuselage ou les éléments de voilure d'un aéronef.

Les panneaux en matériaux composites stratifiés sont réalisés par un empilement d'une pluralité de couches, formées de fibres, maintenues entre elles au moyen d'une résine durcie.

Durant la vie de l'aéronef, un panneau en matériau composite stratifié servant à réaliser le fuselage ou les éléments de voilure, subit des impacts sur sa face libre, dite face avant, par exemple à la suite de collisions avec des oiseaux, ou de chutes d'outils lors des opérations de maintenance. Ces impacts détériorent la structure du panneau car ils génèrent des délaminages entre ses couches. Une simple inspection visuelle n'est pas suffisante pour détecter un délaminage.

On connaît un dispositif de contrôle ultrasonore, décrit dans la demande de brevet européen EP1759195, pour révéler si des délaminages sont présents dans l'épaisseur d'un panneau, suite à un impact. Ce dispositif envoie, via une sonde au contact de la face avant du panneau inspecté, une impulsion ultrasonore et recueille l'impulsion réfléchi par la face arrière du panneau, puis compare la forme et le temps de retour du signal réfléchi avec la forme et le temps de retour d'un signal réfléchi, dit signal de référence, par la face arrière du panneau obtenu lorsque le panneau est sain. Une différence de forme et de temps de retour entre les deux signaux réfléchis au-delà de limites acceptables est révélatrice d'un délaminage.

Ce dispositif nécessite préalablement à son utilisation, une calibration sur un panneau sain ayant les mêmes dimensions que le panneau à inspecter afin d'obtenir la forme et le temps de retour du signal de référence. Du fait de cette calibration, ce dispositif est très efficace pour des panneaux à inspecter ayant une épaisseur constante mais peut donner des résultats erronés lorsque la sonde est

déplacée sur une longueur d'un panneau selon laquelle le panneau présente une épaisseur décroissante, notamment décroissante par palier.

Or le fuselage et/ou les éléments de voilure de certains avions sont formés par des panneaux en matériaux composites stratifiés ayant une épaisseur non constante. Il n'existe pas actuellement de dispositifs efficaces pour un
5 contrôle non-destructif par ultrasons de tels panneaux. Le but de la présente invention est de remédier en tout ou partie à ce manque.

A cet effet, l'invention a pour appareil de diagnostic pour la détection d'un délaminage dans l'épaisseur d'un panneau en composite stratifié, l'appareil
10 comprenant une sonde ultrasonore destinée à être mise au contact d'une face dudit panneau, ladite sonde comprenant une pluralité de transducteurs élémentaires un dispositif électronique connecté à chacun desdits transducteurs pour commander l'émission et la réception d'impulsions ultrasonores par ladite sonde via l'activation d'au moins un transducteur élémentaire, l'appareil
15 comprenant en outre un dispositif de visualisation muni d'au moins un premier témoin activable par le dispositif électronique lorsque ce dernier détecte la présence d'un délaminage dans le panneau, ledit dispositif électronique étant configuré pour calculer la valeur d'un indicateur de couplage de ladite sonde avec ladite face, et pour commuter, lorsque la valeur de l'indicateur de couplage est
20 égale à une valeur prédéterminée, d'un mode de couplage à un mode de balayage, le mode de balayage étant tel qu'en émission, le dispositif électronique transmet successivement un même signal impulsif aux transducteurs élémentaires suivant une séquence d'activation des transducteurs élémentaires prédéfinie et, tel qu'en réception, le dispositif électronique analyse les signaux
25 reçus par les transducteurs élémentaires de sorte à détecter un délaminage dans une plage de profondeur prédéterminée de l'épaisseur dudit panneau.

L'invention permet une inspection d'un panneau sans effectuer au préalable de calibration de la sonde sur un panneau sain ayant les mêmes
30 dimensions que le panneau à inspecter. Selon l'invention, la vérification du bon couplage entre la sonde et le panneau permet de s'assurer que la plage de profondeur analysée de l'épaisseur du panneau est constante qu'importe l'épaisseur du panneau. Ainsi, l'appareil de diagnostic selon l'invention permet

d'inspecter un panneau présentant une épaisseur décroissante ou croissante, notamment décroissante par pallier, sur sa longueur.

L'invention sera maintenant plus précisément décrite dans le cadre de modes de réalisation préférés, qui n'en sont nullement limitatifs, représentés sur les figures 1 à 4, dans lesquelles :

- la figure 1 est une vue schématique d'un appareil de diagnostic selon un mode de réalisation de l'invention, comprenant une sonde, un dispositif électronique et un dispositif de visualisation ;
- la figure 2 est une vue schématique de la sonde de la figure 1 ;
- 10 - la figure 3 est une représentation des connexions électriques entre les différents éléments composant l'appareil de diagnostic de l'invention ;
- la figure 4 est une vue de la face du dispositif de visualisation de la figure 1 qui comprend notamment une pluralité de témoins lumineux;
- la figure 5 est une vue en coupe transversale de l'épaisseur d'un panneau inspecté par l'appareil de diagnostic selon l'invention, le panneau ayant subi un impact sur sa face avant ayant donné lieu à des délaminages ; et
- 15 - la figure 6 est le profil d'écho, produit par le dispositif électronique, du panneau inspecté représenté à la figure 5.

20 La figure 1 montre un l'appareil de diagnostic 1 selon un mode de réalisation préféré de l'invention. L'appareil de diagnostic 1 est destiné à être utilisé pour inspecter un panneau, par exemple d'un aéronef, réalisé en matériau composite stratifié et pour détecter d'éventuels délaminages dans l'épaisseur de ce panneau.

L'appareil de diagnostic 1 comprend une sonde ultrasonore 30, un dispositif électronique 40 pour commander l'émission et la réception d'impulsions ultrasonores 50 par la sonde ultrasonore 30, ainsi qu'un dispositif de visualisation 41 muni notamment de témoins quant à la présence ou non de délaminage dans le panneau.

30 La sonde ultrasonore 30 est de type sonde à rouleau comprenant de manière connue un corps pourvu d'une roue montée libre en rotation à une extrémité du corps. La roue est l'élément de la sonde qui est destiné à être mis en contact avec la face avant du panneau à inspecter. Pour réaliser l'inspection d'un

panneau, une pluralité de transducteurs élémentaires formant un réseau de transducteurs élémentaires est fixé au moyeu de la roue.

Selon l'exemple illustré à la figure 2, le corps de la sonde 30 a une forme de fourche comprenant un tube 31 cylindrique prolongé par deux branches 5 32a,32b. L'extrémité libre du tube cylindrique forme un manche pour un opérateur. Une roue libre 34 est fixée dans l'espace formé par les deux branches 32a,32b au moyeu d'un moyeu 33. Le moyeu 33 est fixe par rapport aux deux branches 32a,32b.

La roue 34 présente la forme d'un pneu réalisé avec une membrane 10 sensiblement cylindrique en caoutchouc. La membrane enferme un liquide 35 neutre vis-à-vis des ondes ultrasonores, ainsi que le réseau de transducteurs élémentaires 36a,36b,...,36n qui est arrangé sur un support 37, de type parallélépipédique, fixé au moyeu 33 comme visible sur la figure 2. Le support 37 est fixé sur une première face au moyeu de la roue, et les transducteurs 15 élémentaires 36a,36b,...,36n sont tous disposés sur la face du support 37 qui est opposée à la première face, de sorte que tous les transducteurs élémentaires 36a,36b,...,36n émettent des impulsions ultrasonores vers une même direction, dite direction d'inspection M. Dans l'exemple représenté, la direction d'inspection M est sensiblement alignée avec l'axe longitudinal du tube 31.

Lors de l'utilisation de l'appareil de diagnostic 1 selon l'invention, la sonde 20 30 est appuyée, en position d'utilisation, au niveau de sa roue 34 sur la face avant d'un panneau à inspecter de sorte que la direction d'inspection M est sensiblement parallèle à la direction transversale du panneau. La sonde 30 est avantageusement apte à être déplacée, via sa roue 34, sur la face avant du 25 panneau. Lors du déplacement de la roue 34, le réseau de transducteurs élémentaires 36a,36b,...,36n baigne dans le liquide 35 de sorte que ce dernier forme une interface neutre aux ondes ultrasonores entre le réseau de transducteurs élémentaires 36a,36b,...,36n et la membrane en caoutchouc de la roue 34.

30 Chaque transducteur élémentaire 36a,36b,...,36n est un transducteur piézoélectrique activable à la fois en émission et en réception pour respectivement émettre et recevoir des impulsions ultrasonores. Dans la suite de la description, une impulsion ultrasonore émise par un transducteur élémentaire 36a,36b,...,36n

suite à son activation en émission sera appelée tir.

En relation avec les figures 1 et 3, on a représenté le dispositif électronique 40 qui gère l'activation en émission et en réception des transducteurs élémentaires 36a,36b,...,36n du réseau. Le dispositif électronique 40 comprend
5 une carte d'acquisition ultrasonore 42 et une unité centrale 43.

La carte d'acquisition ultrasonore 42 comprend un circuit logique programmable et des éléments comme des convertisseurs analogique-numérique pour la transmission de signaux numériques à l'unité centrale 43, des amplificateurs ou des filtres. La carte d'acquisition ultrasonore 42 est logée dans le
10 tube 31 de la sonde 30. La carte ultrasonore 42 est connecté à chaque transducteur élémentaire 36a,36b,...,36n du réseau via une liaison filaire 42a,42b,...,42n. Par conséquent, un transducteurs élémentaires 36a,36b,...,36n est activable, par la carte d'acquisition 42, de manière indépendante des autres. Un signal impulsionnel envoyé par la carte d'acquisition ultrasonore 42 à un
15 transducteur élémentaire 36a,36b,...,36n, via la liaison filaire correspondante 42a,42b,...,42n entre le transducteur élémentaire 36a,36b,...,36n et la carte d'acquisition 42, est converti en impulsion ultrasonore 51 par ce dernier. Inversement, lors qu'un transducteur élémentaire 36a,36b,...,36n reçoit une impulsion ultrasonore 51, ce dernier envoie, à la carte d'acquisition 42, un signal
20 impulsionnel correspondant à l'impulsion ultrasonore reçue via la liaison filaire correspondante 42a,42b,...,42n entre le transducteur élémentaire 36a,36b,...,36n et la carte d'acquisition 42,

La carte d'acquisition 42 est reliée d'autre part, par liaison filaire de type USB ou non filaire de type Wifi, à l'unité centrale 43. L'unité centrale 43
25 comprend de manière connue au moins un processeur, des mémoires et des unités périphériques et des interfaces d'entrées-sorties. L'unité centrale 43 met en œuvre un programme, pour d'une part, gérer l'émission et la réception d'impulsions ultrasonores par le réseau de transducteur ultrasonores 36a,36b,...,36n via la carte d'acquisition 42, et d'autre part, effectuer le traitement
30 et l'analyse des signaux correspondants aux impulsions ultrasonores 51 reçues par la carte d'acquisition 42.

Avantageusement, le dispositif électronique 40 est commutable selon deux modes distincts : le mode couplage et le mode balayage. En mode couplage,

l'unité centrale 43 détermine si la sonde 30 est bien couplée avec la face avant du panneau à analyser tandis qu'en mode balayage, l'unité centrale 43 détermine si un panneau inspecté présente ou non des délaminages. La vérification du bon couplage entre la sonde 30 et la face avant du panneau est effectuée par l'unité
5 centrale 43 qui va déterminer, en mode couplage, si un indicateur booléen de couplage a une valeur égal à 1, comme cela sera décrit plus loin.

Dans les deux modes, la forme du signal impulsionnel envoyé à un transducteur élémentaire 36a,36b,...,36n est la même pour les autres transducteurs élémentaires.

10 Dans le mode de couplage, les transducteurs élémentaires 36a,36b,...,36n sont tous activés en même temps en émission ou en réception et chaque signal fourni par un transducteur élémentaire au dispositif électronique 40 est amplifié afin que les signaux fournis par les transducteurs élémentaires 36a,36b,...,36n aient tous la même amplitude.

15 Selon ce mode, et comme cela sera décrit plus loin, l'unité centrale 43 commande l'affichage d'au moins un témoin lumineux présent sur le dispositif de visualisation 41 suite aux résultats de l'analyse des signaux fournis pour les transducteurs élémentaires 36a,36b,...,36n au dispositif électronique 40,

Dans le mode balayage, les transducteurs élémentaires 36a,36b,...,36n
20 sont activés successivement, selon une séquence d'activation, que ce soit en émission ou en réception.

En émission, les multiples tirs déphasés (retardés) entre eux permettent de créer un faisceau par interférences constructives. En effet, les multiples tirs s'additionnent à un front d'onde unique se déplaçant à un angle, dit angle de
25 balayage, défini par rapport à la direction d'inspection M. En modifiant d'un tir à l'autre les déphasages, l'angle de balayage est modifié. Le signal fourni par l'unité centrale 43 à la carte d'acquisition 42 comprend alors, en plus de la forme du signal impulsionnel destiné à être converti en impulsion ultrasonore par les transducteurs élémentaires 36a,36b,...,36n, la séquence d'activation, et le
30 déphasage entre les tirs. Le déphasage entre les tirs est avantageusement déterminé en fonction de la vitesse de déplacement de la roue 34 sur la face avant du panneau, obtenue via des capteurs arrangés sur la sonde 30.

En réception, une multitude d'impulsions ultrasonores déphasées entre

elles par est reçue par le réseau de transducteurs élémentaires 36a,36b,...,36n. Pour chaque séquence d'activation, la carte d'acquisition 42 reconstitue un signal, dit signal de balayage, à partir des caractéristiques (amplitude, forme, phase) des différentes impulsions reçues, du temps de vol de chacune des impulsions reçues et de l'angle de balayage. Le signal de balayage comprend ainsi des données
5 d'amplitude et de temps correspondant à des amplitudes et des temps d'arrivée des impulsions reçues.

En utilisation et comme cela sera décrit plus loin, c'est-à-dire lors de l'inspection d'un panneau, le signal de balayage représente le profil d'écho
10 ultrasonore retourné par le panneau.

Par « temps de vol » d'une impulsion reçue, on entend le temps écoulé entre le moment de l'émission d'une impulsion ultrasonore par un transducteur élémentaire 36a,36b,...,36n et le moment de la réception par ce même transducteur élémentaire de la même impulsion ultrasonore réfléchiée par une
15 discontinuité de milieu.

La carte d'acquisition 42 numérise ensuite le signal de balayage et le transmet à l'unité centrale 43 qui effectue le traitement et l'analyse du signal de balayage comme cela sera décrit plus loin.

L'unité centrale 43 commande, suite aux résultats de l'analyse du signal de balayage, l'affichage des témoins du dispositif de visualisation 41 destiné à être
20 lu par un opérateur utilisant l'appareil de diagnostic de l'invention.

Le dispositif de visualisation 41, illustré en figure 4, comporte :

- un premier témoin 411 lumineux qui lorsque activé, indique qu'aucun délaminage au sein de panneau inspecté est détecté ;
- 25 - un deuxième indicateur 412 lumineux qui lorsque activé, indique qu'un délaminage au sein du panneau inspecté est détecté ;
- un troisième témoin 413 lumineux qui lorsque activé, indique que le couplage entre le dispositif ultrasonore et la face avant 11 de la zone du panneau à inspecter est correct.

30 Le procédé de détection de délaminage dans un panneau, représenté à la figure 5, via l'appareil de détection selon l'invention, va être maintenant décrit.

Dans une première étape, le dispositif électronique 40 fonctionne en mode couplage afin de vérifier qu'un indicateur booléen de couplage, indicateur du

couplage entre le panneau 10 à inspecter et la sonde 30, a pour valeur 1.

Lors de cette première étape, et lorsque la sonde 30 est dans le vide, l'unité centrale 43 mesure, pour chaque transducteur élémentaire 36a,36b,...,36n, le temps de vol, dit temps de vol à vide, de la première impulsion reçue. La première impulsion qui est reçue correspond à une impulsion ultrasonore réfléchie par la membrane de la roue 34 lorsque cette dernière n'est pas en contact avec le panneau à inspecter. L'unité centrale 43 analyse également la forme, dite forme de référence, du signal correspondant à la première impulsion reçue.

Lorsque la sonde est en position d'utilisation, comme représenté à la figure 5, l'unité centrale 43 mesure pour chaque tir, le temps de vol, dit temps de vol de couplage, de la première impulsion reçue. La première impulsion qui est reçue correspond cette fois à une impulsion ultrasonore réfléchie par la membrane du pneu de la roue 34 lorsque cette dernière est en contact avec la face avant 11 du panneau 10 à inspecter. L'unité centrale 43 soustrait ensuite la valeur du temps de vol de couplage à la valeur du temps de vol à vide. Si le résultat de la soustraction est inférieur à un seuil paramétrable, un premier indicateur booléen de couplage du transducteur élémentaire est mis à la valeur un (en logique positive).

Enfin, un premier indicateur global de couplage est mis à la valeur un si le nombre de premiers indicateurs mis à un est supérieur à un seuil paramétrable.

Le premier indicateur global de couplage mis à la valeur un représente une bonne utilisation de la sonde 30, et donc une bonne déformation de la roue 34 suite à son appuie sur la face avant 11 du panneau 10.

Ensuite, et pour chaque transducteur élémentaire 36a,36b,...,36n, l'unité centrale 43 mesure le taux de déformation de la forme du signal de l'impulsion réfléchie par la face avant 11 du panneau 10 après un tir avec la forme du signal de référence. La déformation est due à la différence d'impédance entre les milieux (caoutchouc/ matériau composite) traversés par l'impulsion. Lorsque le signal de référence est du type pulse gaussien, l'unité centrale 43 utilise par exemple deux portes d'acquisition numériques pour détecter la position des alternances positives et négatives du signal de l'impulsion réfléchie par la face avant du panneau par rapport à celles du pulse gaussien.

Si le taux de déformation est supérieur à un taux de déformation

prédéterminé, un second indicateur booléen de couplage du transducteur élémentaire est mis à un, en logique positive.

Enfin, un second indicateur global de couplage est mis à un si le nombre de seconds indicateurs mis à un est supérieur à un seuil paramétrable. Le second
5 indicateur global de couplage mis à un indique qu'une couche franche de couplant est présente entre la membrane de la roue 34 et le panneau 10.

L'unité centrale 43 effectue ensuite un ET logique entre le premier indicateur global de couplage et le second indicateur global de couplage. Le résultat booléen du ET logique est appelé indicateur de couplage. Dans le mode
10 couplage, l'unité centrale 43 compare en permanence la valeur de l'indicateur de couplage avec la valeur 1. Si l'indicateur de couplage a une valeur égale à 1, l'unité centrale 43 détermine que la sonde 30 est couplée avec la face avant 11 et commande le dispositif indicateur 41 pour activer le troisième témoin 413.

Une fois la sonde 30 couplée, c'est-à-dire que l'indicateur de couplage a
15 une valeur égale à 1, et dans une seconde étape, le dispositif électronique 30 commute automatiquement en mode balayage et le balayage du panneau 10 débute pour une première séquence d'activation. Comme décrit plus haut, la carte d'acquisition 42 reconstitue le signal de balayage 33b, représenté à la figure 6, à partir des impulsions reçues. Le signal de balayage 33b est représenté le profil
20 d'écho ultrasonore du panneau 10.

Les impulsions ultrasonores émises par les transducteurs élémentaires 36a,36b,...,36n lors d'une séquence d'activation traversent l'épaisseur du panneau 10 et se réfléchissent sur des éléments tels que les surfaces du panneau 10, les arêtes 15, et autres discontinuités, comme des délaminages 14.

Ces réflexions se traduisent par des pics 34a,34b,34c dans le signal de balayage 33b. Le signal de balayage 33b comprend ainsi typiquement une pluralité de pics 34a,34b,34c décalés dans le temps, chaque pic correspondant à au moins une impulsion réfléchie par un élément du panneau 10. L'abscisse temporelle t du signal de balayage 33b représente les temps de vol parcourus par
30 les impulsions reçues. Par conséquent, le décalage temporel entre les pics 34a,34b,34c est fonction du temps de vol des impulsions reçues qui ont été réfléchies par les éléments 11,14,15 du panneau.

A partir de la célérité des ondes ultrasonores, ce décalage temporel

permet donc de déterminer la distance entre les éléments 11,14,15 du panneau 10 et la profondeur des éléments dans l'épaisseur du panneau 10. Un pic 34a,34b,34c correspondant à un élément 11,14,15 du panneau 10 a une amplitude d'autant plus importante que le nombre d'impulsions réfléchis par cet élément 11,14,15 lors d'une séquence d'activation, est important.

Afin de détecter la présence de délaminage, l'unité centrale 43 détermine si des pics 34b,34c présents dans le signal de balayage ont une amplitude qui dépasse un seuil prédéterminé 39 et sont compris dans une porte temporelle prédéfinie 38. Le seuil d'amplitude prédéterminé permet de ne prendre en compte que les pics 34b,34c qui révèlent la présence d'un délaminage et non d'un bruit parasite.

Dans la figure 6, l'appareil de diagnostic 20 inspecte le panneau représenté à la figure 5, qui a subi un impact 13 sur sa face avant 11 ayant donné lieu à des délaminages 14. Le dispositif ultrasonore 30 est représenté appuyé contre la face avant 11 du panneau, à proximité immédiate de l'impact 13.

La porte temporelle 38 est représentative d'une plage de profondeur dans l'épaisseur du panneau, variant entre une épaisseur minimale e_{\min} et une épaisseur maximale e_{\max} , considérées à partir de la face avant 11 du panneau, et selon la direction transversale du panneau. La profondeur e_{\min} correspond à une épaisseur supérieure strictement supérieure à celle d'un temps de vol d'une impulsion reçue correspondant à l'impulsion réfléchie 34a, par la face avant 11, et qui ne serait pas représentative d'un délaminage 14. La profondeur e_{\max} correspond à une profondeur strictement inférieure à celle d'un temps de vol d'une impulsion reçue qui serait réfléchie par un élément situé à une distance e_{\max} de la face avant.

Typiquement, la profondeur e_{\max} est choisie de sorte qu'elle soit inférieur à la moitié de l'épaisseur connue des panneaux 10 en composite stratifiées utilisés pour réaliser la structure de l'aéronef.

Pour la séquence d'activation du réseau de transducteurs élémentaires 30 36a,36b,...,36n en cours, un pic 34b ayant une amplitude dépassant le seuil d'amplitude 39 est présent dans la porte temporelle 38. Le pic 34 est donc significatif d'un délaminage 14 présent dans l'épaisseur du panneau 10. L'unité centrale 43 commande alors le dispositif de visualisation 41 pour activer le second

témoin 412.

Si aucun pic ayant une amplitude dépassant le seuil d'amplitude 39 et dans la porte temporelle 38 n'avait été détecté, l'unité centrale 43 aurait commandé le dispositif de visualisation pour activer le premier témoin 411.

5 Il est à noter que lors de l'utilisation de l'appareil de diagnostic 1, le dispositif électronique bascule, à intervalles temporaires réguliers, en mode couplage afin de vérifier le bon couplage entre la sonde 30 et le panneau 10 à inspecter. Si le couplage est bon, alors, le dispositif électronique commute automatiquement en mode balayage comme décrit ci-dessus.

10 On comprend à la lecture de la description ci-dessus que l'appareil de diagnostic 1 selon l'invention pour la détection d'un délaminage 14 dans l'épaisseur d'un panneau 10 en composite stratifié permet une inspection d'un panneau 10 ayant une épaisseur non constante selon sa longueur.

Le signal réfléchi par la face arrière 12 d'un panneau 10 inspecté par
15 l'appareil de diagnostic 1 selon l'invention, lorsque la sonde 30 de ce dernier est placée sur la face avant 11 du panneau, n'est donc pas utilisé pour la prise de décision quant à la présence ou non d'un délaminage. En effet, une analyse du signal de balayage sur une plage de profondeur restreinte du panneau 10 est suffisante puisque un délaminage causé par un impact 13 reçu sur la face avant
20 11 d'un panneau en matériau composite stratifié commence typiquement au niveau des premières interfaces des couches de l'empilement, au niveau de la face avant du panneau et se propage dans les interfaces de couches suivantes, suivant un modèle d'expansion de forme conique, vers la face arrière 12 du panneau.

25 L'utilisation de l'appareil de diagnostic selon l'invention nécessite uniquement de s'assurer du bon couplage entre la sonde 30 et le panneau 10 à inspecter de sorte à s'assurer notamment que la plage de profondeur (fenêtre temporelle 38) analysée est constante qu'importe l'épaisseur du panneau. Ainsi, contrairement aux dispositifs de l'art antérieur, l'appareil de diagnostic 1 selon
30 l'invention ne nécessite pas d'être calibré pour des épaisseurs constantes de panneaux.

On notera en outre que l'appareil de diagnostic 1 de l'invention a un fonctionnement simple et offre une lecture des résultats intuitive. Ainsi, il est

facilement utilisable par un opérateur non hautement qualifié dans les technologies de contrôle non destructif. Ainsi, un personnel au sol dans un aéroport, quel qu'il soit, muni de cet appareil de diagnostic, peut l'appréhender rapidement et l'utiliser pour déterminer si l'impact visible sur la structure d'aéronef inspectée a causé ou non des dommages structurels, comme des délaminages, et si des spécialistes de l'inspection doivent être sollicités. L'immobilisation des aéronefs au sol n'est préconisée que si nécessaire.

Bien que le dispositif de visualisation ait été décrit avec des témoins lumineux, ces derniers sont sonores dans une variante du dispositif de visualisation. Dans une autre variante du dispositif de visualisation, les témoins sont sonores et lumineux.

REVENDEICATIONS

- 1 - Appareil de diagnostic (1) pour la détection d'un délaminage (14) dans l'épaisseur d'un panneau en composite stratifié (10), caractérisé en ce qu'il comprend une sonde ultrasonore (30) destinée à être mise au contact d'une face (11) dudit panneau, ladite sonde (30) comprenant une pluralité de transducteurs élémentaires (36a,36b, ...,36n), un dispositif électronique (40) connecté à chacun desdits transducteurs pour commander l'émission et la réception d'impulsions ultrasonores (51) par ladite sonde (30) via l'activation d'au moins un transducteur élémentaire (36a,36b, ...,36n), l'appareil (1) comprenant en outre un dispositif de visualisation (41) muni d'au moins un premier témoin activable par le dispositif électronique (40) lorsque ce dernier détecte la présence d'un délaminage dans le panneau, ledit dispositif électronique (40) étant configuré pour calculer la valeur d'un indicateur de couplage de ladite sonde (30) avec ladite face (11), et pour commuter, lorsque la valeur de l'indicateur de couplage est égale a une valeur prédéterminée, d'un mode de couplage à un mode de balayage, le mode de balayage étant tel qu'en émission, le dispositif électronique (40) transmet successivement un même signal impulsionnel aux transducteurs élémentaires (40) suivant une séquence d'activation des transducteurs élémentaires prédéfinie et, tel qu'en réception, le dispositif électronique (40) analyse les signaux reçus par les transducteurs élémentaires de sorte à détecter un délaminage (14) dans une plage de profondeur prédéterminée de l'épaisseur dudit panneau (10).
- 2 - Appareil de diagnostic (1) selon la revendication 1, caractérisé en ce que dans le mode de couplage, en émission, le dispositif électronique (40) transmet simultanément un même signal impulsionnel à chacun des transducteurs élémentaires (36a,36b, ...,36n) , et, en réception, le dispositif électronique (40) analyse les signaux reçus par les transducteurs élémentaires de sorte à calculer la valeur de l'indicateur de couplage.
- 3 - Appareil de diagnostic (20) selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que le dispositif de visualisation (41) comprend en outre un

second témoin (413) activable par le dispositif électronique (40) lorsque ce dernier est commuté en mode balayage.

- 4 - Procédé pour la détection d'un délaminage (14) dans l'épaisseur d'un panneau en composite stratifié (10), ledit panneau (10) présentant une première face, dite face avant (11), ledit procédé étant mis en œuvre via l'appareil de diagnostic selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le procédé comporte les étapes successives suivantes :
- 5
- a) Comparaison d'une valeur de l'indicateur de couplage avec une valeur prédéterminée;
- 10
- b) pour une séquence d'activation des transducteurs élémentaires et si la valeur de l'indicateur de couplage est égale à ladite une valeur prédéterminée:
- 1) émission par chacun de la pluralité de transducteurs élémentaires (36a,36b, ...,36n) d'une impulsion ultrasonore (51) vers le panneau (10)
- 15
- 2) réception par chacun des transducteurs élémentaire (36a,36b, ...,36n) d'une impulsion réfléchie par le panneau (10)
- 3) reconstitution, par le dispositif électronique (40), d'un signal de balayage (33b) à partir de la pluralité d'impulsions réfléchies reçues,
- 20
- c) activation d'un témoin du moyen de présentation de l'information (411) indicateur de la présence d'un délaminage (14) dans l'épaisseur dudit panneau (10) lorsque le signal de balayage (33b) comporte un pic (34b) ayant une amplitude supérieure à un seuil prédéfini (39) et représentant un temps de vol d'une impulsion reçue d'une durée :
- 25
- strictement supérieure à celle d'un temps de vol d'une impulsion reçue correspondant à l'impulsion réfléchie par ladite face avant (11), et ;
 - strictement inférieure à celle d'un temps de vol d'une impulsion reçue qui correspondrait à l'impulsion réfléchie par un élément
- 30
- situé à une distance e_{\max} de ladite face avant (11).

15

5 - Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que la valeur de l'indicateur de couplage est égale à la valeur prédéterminée lorsque :

- 5 - A) le résultat de la soustraction entre le temps de vol d'une première impulsion reçue par un transducteur élémentaire lorsque la sonde (30) est au contact de la face avant (11) du panneau et le temps de vol d'une première impulsion reçue par ce même transducteur élémentaire lorsque la sonde (30) n'est pas au contact de ladite face avant (11), est inférieur à un seuil prédéterminé,
- 10 - B) le taux de déformation d'un signal réfléchi par ladite face avant (11) et reçu par ce même transducteur élémentaire lorsque la sonde est au contact de ladite face avant (11) est supérieur à un taux de déformation prédéterminé ; et
- C) les occurrences A et B sont valides pour un nombre de transducteurs élémentaires supérieur à un nombre prédéterminé.

15

6 - Procédé selon la revendication 4 ou 5, caractérisé en ce que la distance e_{\max} est inférieure à la moitié de l'épaisseur connue du panneau (10).

20 7 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, caractérisé en ce que la vérification du bon couplage est vérifiée à intervalles temporels réguliers.

25

30

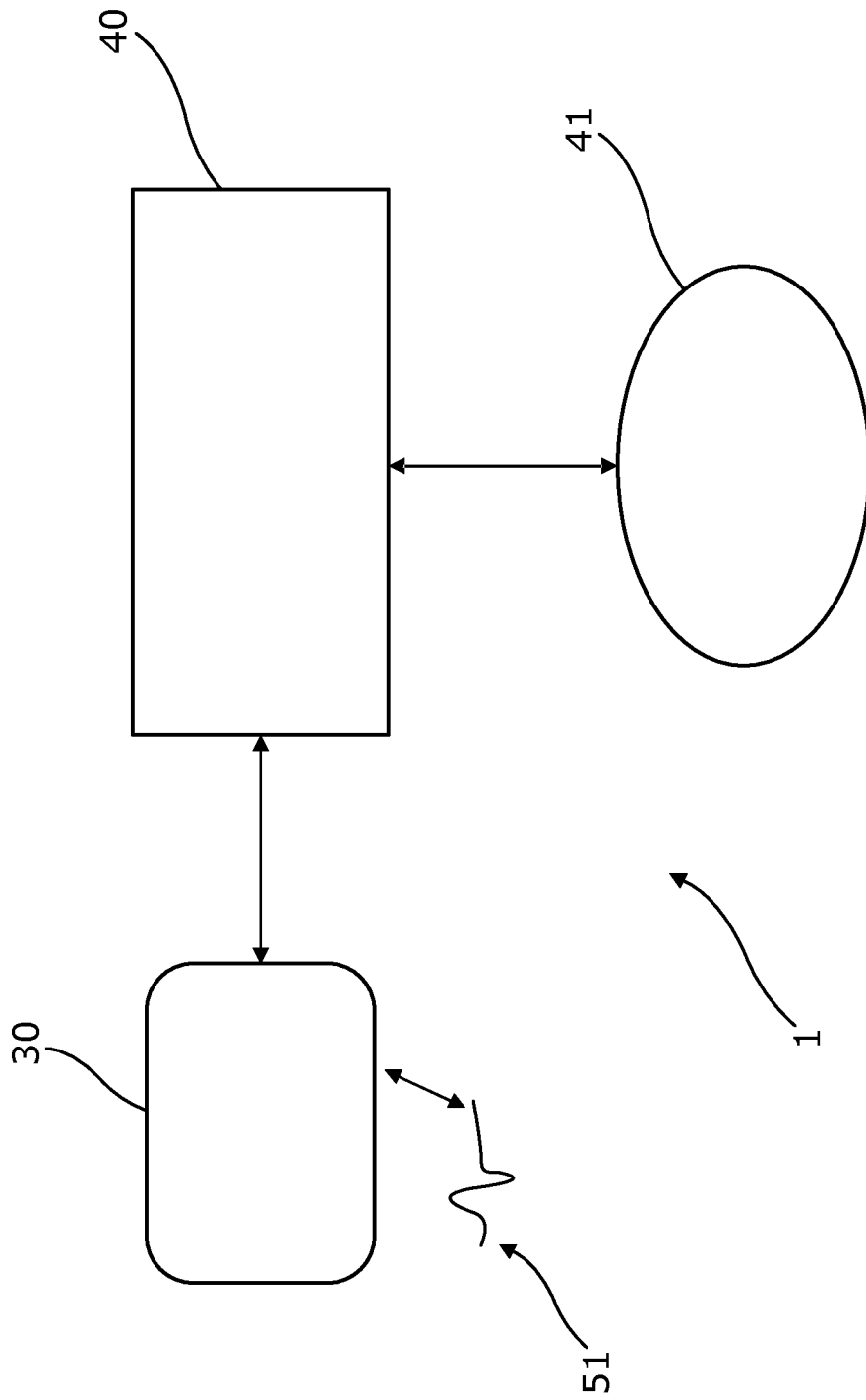


Fig. 1

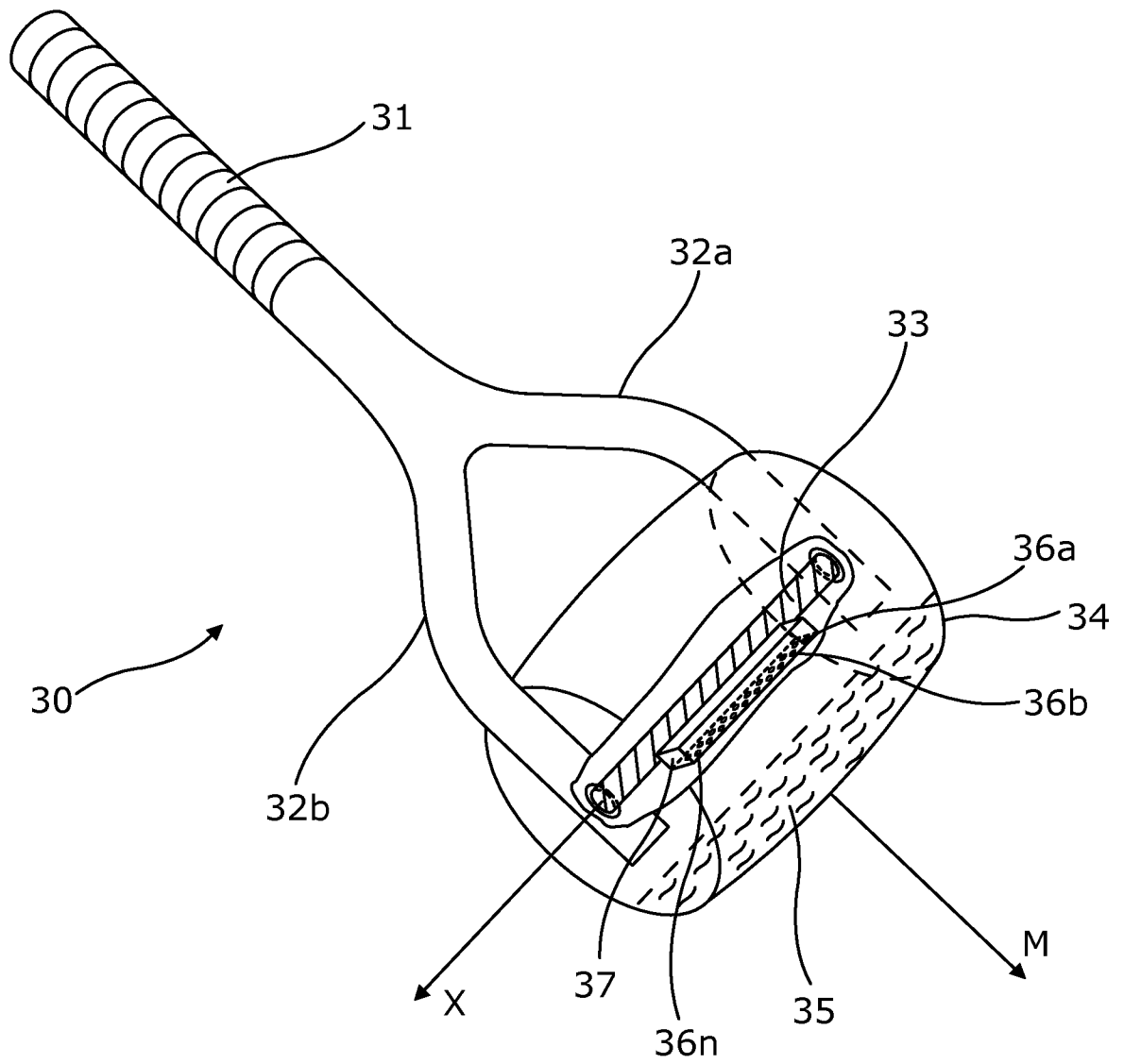


Fig. 2

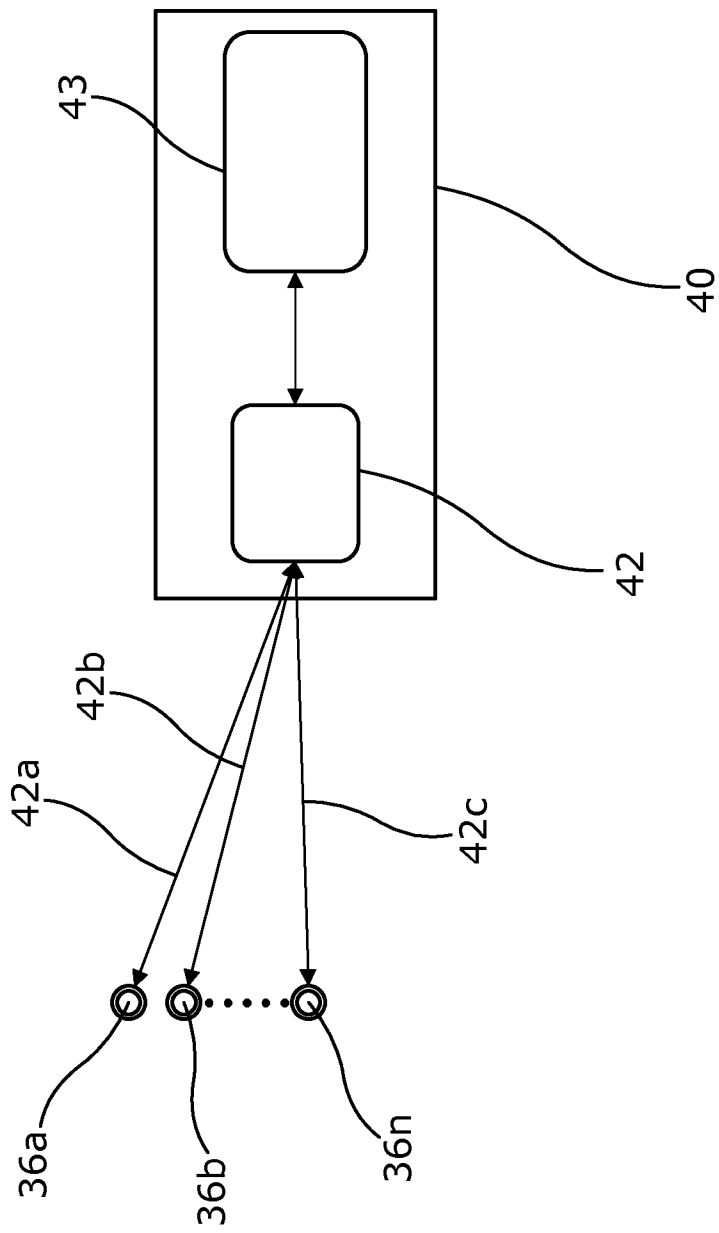


Fig. 3

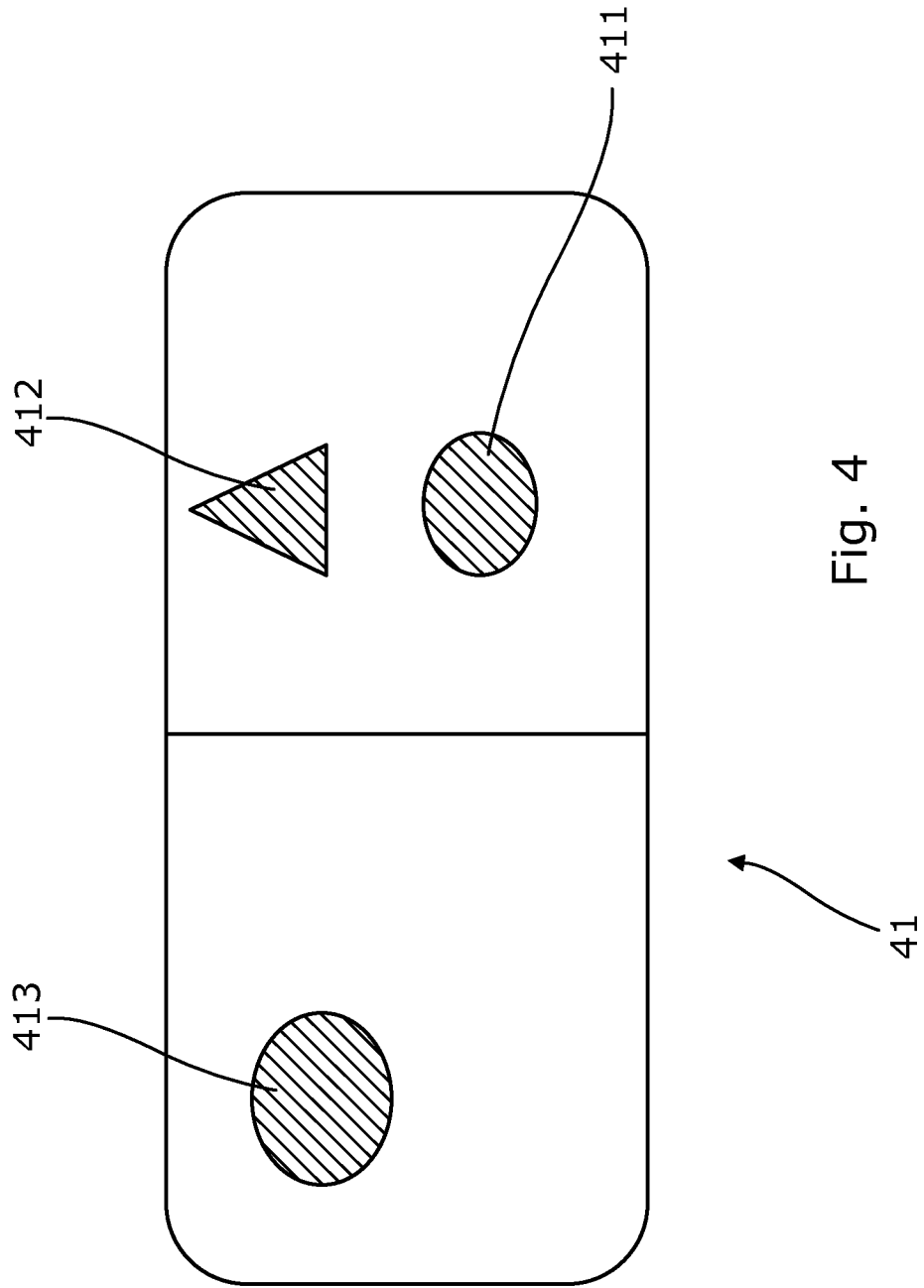


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/062518

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01N29/07 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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP H04 301762 A (TOSHIBA CORP) 26 October 1992 (1992-10-26) abstract figures 1,4,5,6,7 -----	1-7
Y	GB 2 336 676 A (SMITHS INDUSTRIES PLC [GB] SMITHS INDUSTRIES PLC [GB]; SMITHS GROUP PL) 27 October 1999 (1999-10-27) abstract page 3 -----	1-7

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 July 2013

Date of mailing of the international search report

25/07/2013

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

Couteau, Olivier

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2013/062518

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP H04301762	A	26-10-1992	NONE

GB 2336676	A	27-10-1999	AT 451609 T 15-12-2009
			EP 0952446 A2 27-10-1999
			GB 2336676 A 27-10-1999
			JP 4489866 B2 23-06-2010
			JP H11326293 A 26-11-1999
			US 2002000125 A1 03-01-2002

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2013/062518

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01N29/07 G01N29/44 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE		
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		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	JP H04 301762 A (TOSHIBA CORP) 26 octobre 1992 (1992-10-26) abrégé figures 1,4,5,6,7 -----	1-7
Y	GB 2 336 676 A (SMITHS INDUSTRIES PLC [GB] SMITHS INDUSTRIES PLC [GB]; SMITHS GROUP PL) 27 octobre 1999 (1999-10-27) abrégé page 3 -----	1-7
<input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents		
<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "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) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"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 "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 "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 "&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 19 juillet 2013		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 25/07/2013
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 Couteau, Olivier

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2013/062518

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP H04301762	A	26-10-1992	AUCUN	

GB 2336676	A	27-10-1999	AT 451609 T	15-12-2009
			EP 0952446 A2	27-10-1999
			GB 2336676 A	27-10-1999
			JP 4489866 B2	23-06-2010
			JP H11326293 A	26-11-1999
			US 2002000125 A1	03-01-2002
