

(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 2010/103098 A1**

(43) Date de la publication internationale  
16 septembre 2010 (16.09.2010)

PCT

- (51) Classification internationale des brevets :  
G01N 29/24 (2006.01) G01N 29/28 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/EP2010/053172
- (22) Date de dépôt international :  
12 mars 2010 (12.03.2010)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :  
0951560 12 mars 2009 (12.03.2009) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :  
EUROPEAN AERONAUTIC DEFENCE AND SPACE COMPANY EADS FRANCE [FR/FR]; 37, Boulevard de Montmorency, F-75016 Paris (FR).
- (72) Inventeur; et
- (75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) :  
ITHURRALDE, Guillaume [FR/FR]; 17, allée du Val d'Aran, F-31770 Colomiers (FR).
- (74) Mandataire : FOURCADE, Emmanuelle; Schmit-Chretien, Parc de Basso Cambo, 4, rue Paul Mesples, F-31100 Toulouse (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, 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, KM, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (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, SE, SI, SK, SM,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : DEVICE AND METHOD FOR THE NONDESTRUCTIVE MONITORING OF COMPLEX STRUCTURES USING ULTRASONIC WAVES

(54) Titre : DISPOSITIF ET PROCÉDÉ DE CONTRÔLE NON-DESTRUCTIF PAR ULTRASONS DE STRUCTURES COMPLEXES

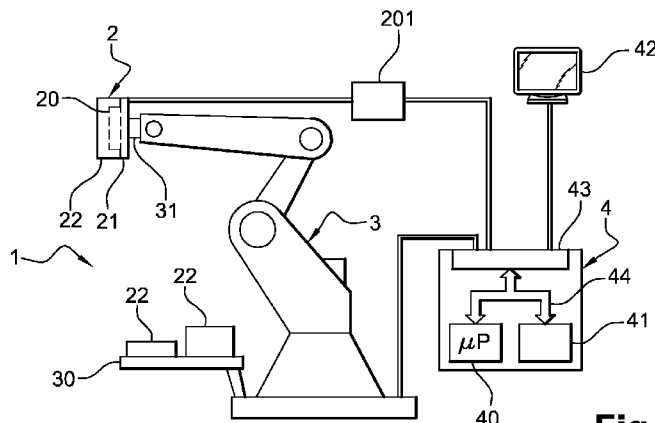


Fig. 1

(57) Abstract : The invention relates to a device (1) for the nondestructive monitoring of a complex structure (5) using ultrasonic waves, comprising an ultrasonic probe comprising a matrix array of basic transducers (200a, 200b) that can be configured according to a plurality of different activation modes, a monitoring head (2) to which the probe (20) is attached, and an automaton (3) having the monitoring head (2). The device (1) also includes a plurality of end elements (22), each end element comprising a surface geometrically adapted to an area of the structure (5), means for selecting an end element (22) from the plurality of end elements and an activation mode from the plurality of activation modes, means for controlling an attachment, by the automaton (3), of the selected end element (22) to the monitoring head (2), and means for configuring the probe (20) with the selected activation mode. The invention also relates to a method for the nondestructive control of complex structures using ultrasonic waves.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



WO 2010/103098 A1

TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, **Publiée :**  
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

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

**Déclarations en vertu de la règle 4.17 :**

- relative au droit du déposant de revendiquer la priorité de la demande antérieure (règle 4.17.iii))

---

Un dispositif (1) de contrôle non-destructif par ultrasons d'une structure (5) complexe comporte une sonde (20) ultrasonore comportant un réseau matriciel de transducteurs élémentaires (200a, 200b) pouvant être configurés suivant une pluralité de modes d'activation différents, une tête de contrôle (2) à laquelle la sonde (20) est fixée et un automate (3) portant la tête de contrôle (2). Le dispositif (1) comporte également une pluralité d'éléments terminaux (22), chaque élément terminal comportant une surface géométriquement adaptée à une zone de la structure (5), des moyens de sélection d'un élément terminal (22) parmi la pluralité d'éléments terminaux et d'un mode d'activation parmi la pluralité de modes d'activation, des moyens de commande d'une fixation par l'automate (3) de l'élément terminal (22) sélectionné à la tête de contrôle (2), et des moyens de configuration de la sonde (20) avec le mode d'activation sélectionné. L'invention concerne également un procédé de contrôle non-destructif par ultrasons de structures complexes.

## **Dispositif et procédé de contrôle non-destructif par ultrasons de structures complexes**

La présente invention appartient au domaine du contrôle non-destructif par ultrasons de structures, et concerne plus particulièrement un dispositif et un procédé de contrôle non-destructif par ultrasons d'une structure complexe en immersion locale ou totale dans un milieu de couplage liquide, tel que de l'eau.

De nos jours, les procédés de contrôle non-destructif, notamment par ultrasons, sont mis en œuvre dans de nombreux domaines industriels tels que les domaines de l'aéronautique, du nucléaire, du naval, etc.

Les procédés de contrôle non-destructif par ultrasons consistent généralement à émettre au moyen d'une sonde des ondes ultrasonores en direction d'une structure, et à mesurer des caractéristiques desdites ondes ultrasonores, soit après réflexion par la structure, soit après transmission à travers la structure.

Dans le cas où la sonde n'est pas en appui sur la structure, les procédés de contrôle non-destructif nécessitent un suivi de profil de la structure à contrôler. Le suivi de profil est nécessaire par exemple pour maintenir un angle d'incidence des ondes ultrasonores sur la structure sensiblement constant, et/ou pour limiter les fuites de liquide de couplage dans le cas d'un contrôle par immersion locale de la structure.

De nos jours, des structures de plus en plus complexes font leur apparition, et rendent le suivi de profil compliqué. Par exemple il n'est pas rare pour une structure de voilure ou de fuselage d'avion d'avoir des géométries différentes suivant la zone considérée, géométries qui sont dictées par la fonction de la structure (courbure, plan brisé, etc.) ou dues à la présence de fonctions intégrées dans la structure (raidisseur, bords tombé, etc.). Il n'est pas rare non plus d'avoir une épaisseur différente suivant la zone considérée.

En pratique, il est nécessaire pour contrôler de telles structures de considérer une pluralité de sondes ultrasonores de caractéristiques différentes, chaque sonde étant spécialisée pour une zone spécifique de la structure.

Le suivi de profil et les changements de sonde tendent à augmenter la durée des opérations de contrôle non-destructif des structures complexes, et

les cadences de production sont par conséquent pénalisées.

La présente invention se propose de résoudre les problèmes susmentionnés au moyen d'un dispositif et d'un procédé de contrôle non-destructif par ultrasons adaptés au contrôle automatisé de telles structures.

5 L'invention concerne un dispositif de contrôle non-destructif par ultrasons d'une structure comportant une pluralité de zones de géométries différentes. Le dispositif comporte une sonde ultrasonore, une tête de contrôle à laquelle la sonde est fixée, et un automate portant la tête de contrôle.

10 Selon l'invention, la sonde comporte un réseau matriciel de transducteurs élémentaires pouvant être configurés suivant une pluralité de modes d'activation différents, et le dispositif comporte :

- 15 - une pluralité d'éléments terminaux, chaque élément terminal comportant une interface de fixation commune à tous les éléments terminaux et une surface qui lui est propre, géométriquement adaptée à une zone de la structure,
- des moyens de sélection d'un élément terminal parmi la pluralité d'éléments terminaux et des moyens de sélection d'un mode d'activation parmi la pluralité de modes d'activation en fonction d'une géométrie d'une zone de la structure,
- 20 - des moyens de commande d'une fixation par l'automate de l'élément terminal sélectionné à la tête de contrôle, et des moyens de configuration de la sonde avec le mode d'activation sélectionné.

De préférence, le dispositif comporte des moyens de mémorisation d'informations associant un élément terminal et un mode d'activation à chaque zone à contrôler. De préférence, les informations associent une zone de géométrie standard à chaque zone à contrôler de la structure.

De préférence, la surface propre de chaque élément terminal comporte un patin déformable.

30 Avantageusement, le dispositif comporte une pluralité de jeux d'éléments terminaux différents, chaque jeu étant adapté à des conditions particulières de contrôle.

L'invention concerne également un procédé de contrôle non-destructif par ultrasons qui comporte les étapes de :

- 5
- a) sélection d'une zone à contrôler de la structure,
  - b) sélection d'un élément terminal et sélection d'un mode d'activation de la sonde en fonction d'une géométrie de la zone à contrôler,
  - c) fixation de l'élément terminal sélectionné à la tête de contrôle et configuration de la sonde en fonction du mode d'activation sélectionné,
  - d) positionnement de la tête de contrôle au voisinage de la zone à contrôler et inspection ultrasonore de ladite zone.

10 Les étapes a), b), c) et d) sont de préférence répétées pour chaque zone à contrôler de la structure.

Dans une variante, on sélectionne au cours de l'étape a) un ensemble de zones contrôlables avec un même élément terminal, on sélectionne au cours de l'étape b) un élément terminal en fonction des géométries de l'ensemble, et l'étape d) est exécutée avec le même élément terminal pour toutes les zones de l'ensemble.

De préférence, le procédé comporte une étape préalable de détermination d'informations associant un élément terminal et un mode d'activation à chaque zone à contrôler de la structure.

20 La description suivante de modes de réalisation de l'invention est faite en se référant aux figures, qui représentent de manière non limitative :

- Figure 1 : une représentation schématique d'un dispositif de contrôle non-destructif par ultrasons selon l'invention,
- Figures 2a à 2e : des représentations schématiques en coupe de têtes de contrôle au contact selon l'invention,
- 25 - Figures 3a et 3b : des représentations schématiques en coupe de têtes de contrôle sans contact selon l'invention,
- Figure 4 : une représentation schématique d'un exemple de réseau de transducteurs élémentaires d'une sonde ultrasonore du dispositif de la figure 1.

30 Le domaine d'application préféré de l'invention, bien que nullement limitatif, est celui du contrôle non-destructif de structures mises en œuvre dans l'aéronautique, en particulier de structures en matériau composite stratifié du type comportant des fibres maintenues par une résine thermodurcissable ou

thermoplastique hautes performances, ou de structures métalliques (acier, titane, aluminium, etc.).

La présente invention concerne un contrôle non-destructif ultrasonore par couplage liquide. De manière connue de l'homme de l'art, un tel couplage  
5 liquide s'obtient par immersion totale ou partielle d'une structure dans une cuve contenant le couplant liquide, de préférence de l'eau, ou par immersion locale de la structure par apport continu du couplant liquide entre une sonde ultrasonore et la structure à contrôler (boîtes à eau, jets d'eau, etc.).

On considère dans la suite de l'exposé le cas d'un contrôle d'une  
10 structure 5, dite « complexe », comportant une pluralité de zones à contrôler non toutes de même géométrie.

« Géométrie » est ici à comprendre au sens large, c'est-à-dire non seulement la géométrie d'une surface locale d'une face avant d'une zone, la face avant étant la face du côté d'une sonde émettant des ondes ultrasonores  
15 en direction de la structure 5, mais également l'épaisseur de la zone, l'inclinaison locale entre la face avant et une face arrière de la zone, etc.

Un exemple de dispositif 1 de contrôle non-destructif par ultrasons selon l'invention, adapté à un contrôle par réflexion, est représenté de façon schématique sur la figure 1.

20 Selon l'invention, le dispositif 1 de contrôle non-destructif par ultrasons comporte une tête de contrôle 2, un automate 3 pour déplacer la tête de contrôle 2, et une unité de commande 4 pour piloter le fonctionnement dudit dispositif.

Au cours des opérations de contrôle, la tête de contrôle 2 est soit en  
25 appui sur la structure 5 et le contrôle est dit « au contact », soit sans appui sur la structure 5 et le contrôle est dit « sans contact ».

La tête de contrôle 2 comporte principalement une sonde 20 ultrasonore montée sur un support 21 et un élément terminal 22 amovible. L'élément terminal 22 est fixé au support 21 par des moyens adaptés pour un  
30 montage/démontage par l'automate 3 sans intervention d'un opérateur.

L'élément terminal 22 comporte une première extrémité 220 et une seconde extrémité 221, opposée à la première extrémité et fixée au support 21 lors des opérations de contrôle de la structure 5.

La seconde extrémité 221 coopère avec le support 21 dans lequel elle s'emboîte. Suivant d'autres modes de réalisation non limitatifs, la fixation est réalisée au moyen d'électro-aimants (par exemple agencés sur le support 21 et/ou sur l'élément terminal 22), par vissage, par baïonnette, etc.

5 De préférence, les dimensions de l'élément terminal 22 sont choisies pour assurer que les ondes ultrasonores émises par la sonde 20 parcourent une distance prédéfinie avant d'être réfléchies par la zone à contrôler. Par exemple la hauteur de l'élément terminal 22, mesurée entre la première extrémité 220 et la seconde extrémité 221, est choisie de sorte que le temps de  
10 propagation aller/retour des ondes ultrasonores dans le liquide de couplage soit supérieur au temps de propagation aller/retour des ondes ultrasonores dans la structure 5.

La première extrémité 220 de l'élément terminal 22 forme une surface géométriquement adaptée à une surface locale d'une zone à contrôler, c'est-à-  
15 dire que la surface formée par la première extrémité 220 et la surface locale ont localement sensiblement la même géométrie, pour assurer le suivi de profil de la structure 5 par la tête de contrôle 2, que le contrôle soit réalisé au contact ou sans contact.

Pour les besoins de la description de modes de réalisation de  
20 l'élément terminal 22, on considère dans un premier temps le cas non limitatif d'un contrôle au contact en immersion locale.

Dans le cas d'un contrôle au contact, la surface formée par la première extrémité 220 est dite « surface d'appui » du fait qu'elle est destinée à prendre appui et à glisser sur la surface locale de la zone à contrôler de la structure 5.  
25 L'élément terminal 22 est également destiné à provoquer l'incidence nécessaire du faisceau d'ondes ultrasonores émises par la sonde 20 sur la surface locale de la zone à contrôler, de préférence une incidence sensiblement normale dans le cas de matériaux composites stratifiés.

Les figures 2a à 2e représentent schématiquement des exemples non  
30 limitatifs d'éléments terminaux 22 du dispositif 1 de contrôle non-destructif.

La figure 2a représente un élément terminal 22 géométriquement adapté à une zone comportant une surface locale sensiblement plane.

Les figures 2b et 2c représentent des éléments terminaux 22

géométriquement adaptés à des zones comportant une surface locale respectivement convexe (base d'un raidisseur oméga) et concave.

La figure 2d représente un élément terminal 22 géométriquement adapté à une zone de bord comportant localement une face avant et un bord  
5 sensiblement plans, orthogonaux entre eux.

La figure 2e représente un élément terminal 22 géométriquement adapté à une zone comportant un raidisseur en T, ledit élément terminal comportant un miroir interne 224 pour assurer une incidence sensiblement normale des ondes ultrasonores sur les parois transversales dudit raidisseur.

10 Dans un mode préféré de réalisation, l'élément terminal 22 comporte une paroi périmétrique entre les première 220 et seconde 221 extrémités.

Lorsque l'élément terminal 22 est fixé au support 21 et lorsque la tête de contrôle 2 est en appui sur la surface locale de la structure 5 avec laquelle la surface d'appui est géométriquement adaptée, l'élément terminal 22, le  
15 support 21, la sonde 20 et la structure 5 délimitent une chambre de couplage 23 essentiellement fermée. La chambre de couplage 23 comporte des ouvertures 24 qui sont utilisées pour le remplissage continu de la chambre de couplage 23 en liquide de couplage.

De préférence, la surface d'appui de la première extrémité 220  
20 comporte un patin 222 déformable, tel qu'un joint périmétrique, pour faciliter le glissement de la tête de contrôle 2 sur la structure 5 et pour limiter les pertes de liquide de couplage.

Dans un mode préféré de réalisation, la chambre de couplage 23 comporte une membrane 25 transversale en vis-à-vis de la sonde 20,  
25 délimitant une première chambre de couplage, du côté de ladite sonde, et une seconde chambre de couplage du côté de la structure 5, de volume de préférence sensiblement inférieur à celui de la première chambre de couplage.

La membrane 25 est imperméable au liquide couplage et est sensiblement transparente dans le domaine ultrasonore. Il s'agit par exemple  
30 d'une feuille de latex d'épaisseur comprise entre 0.1mm et 0.2mm et d'impédance acoustique proche de celle du liquide de couplage. Ce mode est avantageux du fait que seul le remplissage de la seconde chambre de couplage en liquide couplage doit s'effectuer en continu lors des opérations de



contrôle, la première chambre de couplage étant remplie de préférence au début des opérations de contrôle.

De manière plus générale, la contention du liquide de couplage, c'est-à-dire le fait que la chambre de couplage 23 doit être essentiellement fermée, correspond au cas d'une immersion locale. Suivant d'autres modes de réalisation, pouvant être mis en œuvre pour un contrôle au contact en immersion totale ou partielle, l'élément terminal 22 comporte une paroi semi-périmétrique, par exemple en forme de U, ou comporte au moins deux parties proéminentes assurant des points d'appui sur la structure 5, etc.

De manière encore plus générale, les éléments terminaux 22 sont suivant d'autres modes de réalisation adaptés à un contrôle sans contact, par exemple par jet d'eau. Des exemples de tels éléments terminaux sont visibles sur les figures 3a et 3b, pour une surface locale respectivement plane et concave. La première extrémité 220 est de préférence en forme de buse et comporte une jupette 223 souple ou semi-rigide, géométriquement adaptée à la surface locale de la zone à contrôler. Au cours des opérations de contrôle, la jupette 223 est maintenue sensiblement parallèle à ladite surface locale pour limiter les fuites d'eau et assurer le couplage acoustique.

Selon l'invention, le dispositif 1 de contrôle non-destructif comporte une pluralité d'éléments terminaux 22 interchangeables, géométriquement adaptés à des zones différentes de la structure 5. Les éléments terminaux 22 sont par exemple disposés sur un pupitre 30 accessible par l'automate 3 portant la tête de contrôle 2. Chaque élément terminal 22 comporte une interface commune à tous les éléments terminaux, formée par la seconde extrémité 221, destinée à coopérer avec le support 21.

De préférence, le dispositif 1 comporte une pluralité de jeux d'éléments terminaux 22, chaque jeu étant adapté à des conditions particulières de contrôle. Par exemple le dispositif 1 comporte un jeu pour un contrôle sans contact, un jeu pour un contrôle au contact en immersion locale, en immersion totale, etc.

Du fait de cette pluralité d'éléments terminaux 22 interchangeables, pouvant être montés/démontés sur le support 21 par de simples opérations effectuées par l'automate 3, le dispositif 1 de contrôle non-destructif par

ultrasons est adapté au contrôle automatisé de structures complexes.

La sonde 20 ultrasonore du dispositif 1 de contrôle non-destructif comporte un réseau matriciel de transducteurs élémentaires 200a, 200b, de préférence réalisés en matériau piézoélectrique.

5 Les transducteurs élémentaires 200a, 200b sont configurés au moyen d'une électronique multivoie 201 adaptée pour activer individuellement chacun desdits transducteurs élémentaires en émission et/ou en réception. De préférence tout ou partie des transducteurs élémentaires peuvent être activés à la fois en émission et en réception.

10 Dans l'exemple non limitatif représenté sur la figure 4, la sonde 20 comporte un réseau bidimensionnel sensiblement circulaire, de préférence sensiblement plan, comportant trois transducteurs élémentaires périphériques 200a qui ne sont activables qu'en émission, et une pluralité de transducteurs élémentaires centraux 200b, de dimensions sensiblement inférieures à celles  
15 des transducteurs élémentaires périphériques 200a, qui sont activables à la fois en émission et en réception.

L'électronique multivoie 201 est adaptée pour configurer le réseau matriciel de transducteurs élémentaires 200a, 200b suivant une pluralité de modes d'activation différents, chaque mode d'activation étant défini au moins  
20 par une surface active en émission et une surface active en réception.

Une surface active en émission correspond à un ensemble de transducteurs activés simultanément en émission, et une surface active en réception correspond à un ensemble de transducteurs dont les signaux électriques en sortie sont combinés entre eux, par exemple par l'électronique  
25 multivoie 201.

L'électronique multivoie 201 est de préférence également adaptée pour effectuer un balayage électronique des surfaces actives en émission et en réception, c'est-à-dire pour déplacer séquentiellement la surface active en émission et/ou la surface active en réception au sein du réseau de  
30 transducteurs élémentaires 200a, 200b. Un mode d'activation est, le cas échéant, également défini par le balayage électronique des surfaces actives en émission et en réception.

De préférence, l'électronique multivoie 201 est également adaptée

pour appliquer des retards différents aux signaux électriques sur chaque transducteur élémentaire 200a, 200b d'une même surface active d'émission et/ou de réception, afin de modifier la direction privilégiée des ondes ultrasonores ou de focaliser le faisceau ultrasonore. Suivant d'autres modes de réalisation, l'électronique multivoie 201 est également adaptée pour pondérer la tension des signaux électriques sur chaque transducteur élémentaire pour réduire les lobes secondaires du diagramme de rayonnement en émission et/ou le gain en réception. Un mode d'activation est, le cas échéant, également défini par les retards appliqués et/ou les pondérations appliquées aux signaux électriques sur chaque transducteur élémentaire d'une même surface active d'émission et/ou de réception.

Du fait de la pluralité de modes d'activation différents, il est possible de sélectionner un mode d'activation adapté à chaque zone à contrôler de la structure 5, en fonction de la géométrie de cette zone à contrôler, c'est-à-dire en fonction de l'une au moins des caractéristiques suivantes : la géométrie de la surface locale, l'épaisseur de la structure 5, l'inclinaison locale entre la face avant et la face arrière de la structure 5, etc. En outre, l'adaptation de la sonde 20 à la zone à contrôler est obtenue rapidement par configuration de l'électronique multivoie 201.

Par exemple, en fonction de la géométrie de la zone à contrôler, on sélectionne un mode d'activation dont la surface active en émission et/ou les retards appliqués à chaque transducteur élémentaire 200a, 200b de ladite surface active en émission sont configurés de sorte à former un front d'onde géométriquement adapté à la surface locale de la zone à contrôler. En d'autres termes, la surface active en émission et/ou les retards appliqués à chaque transducteur élémentaire 200a, 200b de ladite surface active en émission sont configurés de sorte à avoir une incidence sensiblement normale en tout point de la surface locale de cette zone à contrôler.

Dans l'exemple représenté sur la figure 2a, le mode d'activation sélectionné est tel que les rayons ultrasonores émis par la sonde 20, représentés en traits discontinus, sont sensiblement parallèles et le front d'onde est sensiblement plan.

Dans les exemples représentés sur les figures 2b et 2c, le mode

d'activation sélectionné est tel que les rayons ultrasonores convergent en un point de focalisation virtuel F sensiblement confondu avec un centre de courbure de la surface locale de la structure 5.

5 Dans l'exemple de la figure 2b, le point F se trouve entre la sonde 20 et la face avant de la structure 5. Les rayons ultrasonores, après s'être croisés, divergent et forment un front d'onde sensiblement sphérique centré en F, géométriquement adapté à la surface locale convexe.

10 Dans l'exemple de la figure 2c, le point F se trouve, par rapport à la sonde 20, après la face avant de la structure 5, et les rayons ultrasonores forment un front d'onde géométriquement adapté à la surface locale concave.

15 Dans le cas d'un contrôle d'une structure en matériau anisotrope, telle qu'une structure en matériau composite stratifié, le dispositif 1 est de préférence configuré de sorte que la structure 5 se trouve entre 0.5 et 1.5 fois la limite de champ proche du faisceau ultrasonore formé par la sonde 20 (ou du point F si une loi de retards focalisante a été utilisée). Le mode d'activation est de préférence sélectionné de sorte à placer la limite de champ proche entre les faces avant et arrière de la structure 5, et la sélection du mode d'activation s'effectue en fonction de l'épaisseur de ladite structure dans la zone considérée.

20 De manière plus générale, une augmentation de la superficie de la surface active en émission entraîne une augmentation de la directivité du faisceau ultrasonore émis. Augmenter la directivité permet de maximiser l'énergie émise dans la direction privilégiée, ce qui est avantageux notamment dans le cas d'un contrôle d'une zone épaisse et absorbante. De préférence, plus l'épaisseur de la structure dans la zone considérée sera importante, plus le nombre de transducteurs élémentaires de la surface active en émission du mode d'activation sélectionné sera important.

30 Augmenter la superficie de la surface active en réception permet, via la combinaison des signaux électriques en sortie de plusieurs transducteurs élémentaires 200b, d'améliorer un rapport signal sur bruit en réception et donc de détecter des défauts plus petits qu'avec un seul transducteur élémentaire 200b, et/ou de détecter des ondes ultrasonores fortement atténuées dans le cas d'une zone épaisse.

Le mode d'activation est par exemple sélectionné en fonction de la précision avec laquelle les défauts sont à dimensionner, précision qui dépend notamment, de manière connue de l'homme de l'art, des dimensions des surfaces actives en émission et en réception, mais aussi des lois de retards.

5 Si la vitesse du contrôle est privilégiée par rapport à la précision, une augmentation des superficies des surfaces actives en émission et en réception permet d'accélérer ledit contrôle de la zone considérée, du fait que des superficies plus importantes sont contrôlées simultanément.

10 L'automate 3, connu en lui-même de l'homme de l'art, est mis en œuvre pour déplacer la tête de contrôle 2 dans l'espace, afin de la positionner au voisinage d'une zone à contrôler (au contact ou sans contact), mais également pour remplacer l'élément terminal 22 par un autre élément terminal pour assurer le suivi de profil de la structure 5 à contrôler.

15 On comprend donc que le choix d'un mode d'activation adapté à la géométrie de la zone considérée de la structure 5 permet d'améliorer les performances du contrôle dans le cas d'une structure complexe.

20 Dans un mode préféré de réalisation, l'automate 3 comporte un robot à six axes articulaires portant un effecteur 31 duquel la tête de contrôle 2 est solidaire. Pour des structures de grandes dimensions, le robot à six axes est de préférence monté sur un axe linéaire supplémentaire ou sur une plateforme mobile.

L'automate 3 comporte de préférence un ou des capteurs de position mis en œuvre par l'unité de commande 4 pour estimer la position de la tête de contrôle 2 par rapport à la structure 5.

25 L'unité de commande 4 du dispositif 1 comporte des moyens de commande de l'automate 3, en particulier des déplacements de la tête de contrôle 2 et des remplacements de l'élément terminal 22 par ledit automate, et des moyens de configuration de la sonde 20 via l'électronique multivoie 201. L'unité de commande 4 comporte également des moyens de sélection d'un  
30 élément terminal 22 et des moyens de sélection d'un mode d'activation en fonction d'une géométrie d'une zone à contrôler.

Dans un mode préféré de réalisation, l'unité de commande 4 est un micro-ordinateur de type PC, comportant un microprocesseur 40, des moyens

de mémorisation tels qu'une mémoire électronique 41, des périphériques 42 tel qu'un écran de visualisation, ainsi que des entrées-sorties 43 couplées à l'automate 3 et à l'électronique multivoie 201. Le microprocesseur 40, la mémoire électronique 41 et les entrées-sorties 43 sont reliés par un bus de données 44.

La mémoire électronique 41 comporte une première zone mémoire dans laquelle sont mémorisées des instructions qui sont exécutées par le microprocesseur 40 pour sélectionner un élément terminal 22 et un mode d'activation en fonction d'une géométrie d'une zone à contrôler, pour commander la fixation par l'automate 3 de l'élément terminal 22 sélectionné à la tête de contrôle 2, et pour configurer la sonde 20 avec le mode d'activation sélectionné via l'électronique multivoie 201.

De préférence, la sélection est effectuée au moyen d'informations, mémorisées dans une seconde zone mémoire de la mémoire électronique 41, associant un élément terminal 22 et un mode d'activation à chaque zone à contrôler. Ces informations sont par exemple mémorisées sous la forme d'une table de correspondances.

Suivant un autre exemple, ces informations se présentent sous la forme de deux tables de correspondances : une première table associant les zones à contrôler à des zones de géométrie standard, et une seconde table associant les éléments terminaux 22 et les modes d'activation auxdites zones de géométrie standard.

Ces informations sont de préférence déterminées automatiquement par l'unité de commande 4, par exemple sur la base d'un fichier CAO décrivant la structure 5. Suivant d'autres modes de réalisation, ces informations sont déterminées par un opérateur.

L'invention concerne également un procédé de contrôle non-destructif par ultrasons d'une structure 5 comportant une pluralité de zones de géométries différentes, ledit procédé étant mis en œuvre par le dispositif 1.

Le procédé de contrôle non-destructif comporte principalement les étapes suivantes :

- a) sélection d'une zone à contrôler de la structure 5,
- b) sélection d'un élément terminal 22 et d'un mode d'activation

adaptés à la géométrie de la zone considérée,

- c) fixation de l'élément terminal 22 sélectionné à la tête de contrôle 2 et configuration de la sonde 20 en fonction du mode d'activation sélectionné,
- 5 d) positionnement de la tête de contrôle au voisinage de la zone à contrôler (au contact ou sans contact) et inspection ultrasonore de ladite zone.

Suivant d'autres modes de mise en œuvre, le procédé peut comporter d'autres étapes. Par exemple dans le cas d'un contrôle au contact en  
10 immersion locale, utilisant les têtes de contrôle 2 décrites en référence aux figures 2a à 2e, le procédé comporte le remplissage des première et seconde chambres de couplage, la première chambre de couplage étant remplie après l'étape c) et avant l'inspection de la zone, et la seconde chambre de couplage étant remplie au cours de l'étape d) après le positionnement et avant  
15 l'inspection de ladite zone.

Pour le contrôle de plusieurs zones de la structure 5, un mode préféré de mise en œuvre du procédé consiste à répéter les étapes a), b), c) et d) pour chaque zone à contrôler de la structure 5.

Dans une variante, on détermine au cours de l'étape a) un ensemble  
20 de zones pouvant être inspectées en utilisant un même élément terminal 22, par exemple des zones dont les surfaces locales ont toutes sensiblement la même géométrie.

On sélectionne au cours de l'étape b) un élément terminal 22 à utiliser pour inspecter toutes les zones de l'ensemble. Le mode d'activation est de  
25 préférence déterminé individuellement pour chaque zone de l'ensemble, mais peut être le même pour toutes les zones de l'ensemble.

L'étape c) est inchangée et, au cours de l'étape d), on inspecte toutes les zones déterminées comme pouvant être inspectées avec le même élément terminal 22 et avec le mode d'activation sélectionné.

30 Les étapes a), b), c) et d) sont répétées pour chaque ensemble de zones pouvant être inspectées avec un même élément terminal 22.

La durée des opérations liées au remplacement de l'élément terminal 22 pouvant s'avérer non négligeable par rapport à la durée du contrôle de la

structure 5 dans son ensemble, on comprend que ce mode est avantageux du fait que le nombre de remplacements de l'élément terminal est minimisé.

5 Dans un mode particulier de mise en œuvre, le procédé comporte une étape préalable dans laquelle on détermine les informations associant un élément terminal 22 et un mode d'activation à chaque zone à contrôler. Par exemple on détermine, pour chaque zone à contrôler, la zone de géométrie standard dont la géométrie avoisine le plus celle de la zone à contrôler considérée, la géométrie de chaque zone à contrôler étant de préférence obtenue à partir d'un fichier CAO décrivant la structure 5.

10 L'invention, décrite dans le cas d'un contrôle par réflexion, est également applicable à un contrôle par transmission. Le dispositif 1 comporte dans ce cas au moins une première tête de contrôle 2 pour l'émission d'ondes ultrasonores et une seconde tête de contrôle 2 pour la réception d'ondes ultrasonores, de part et d'autre de la structure 5.

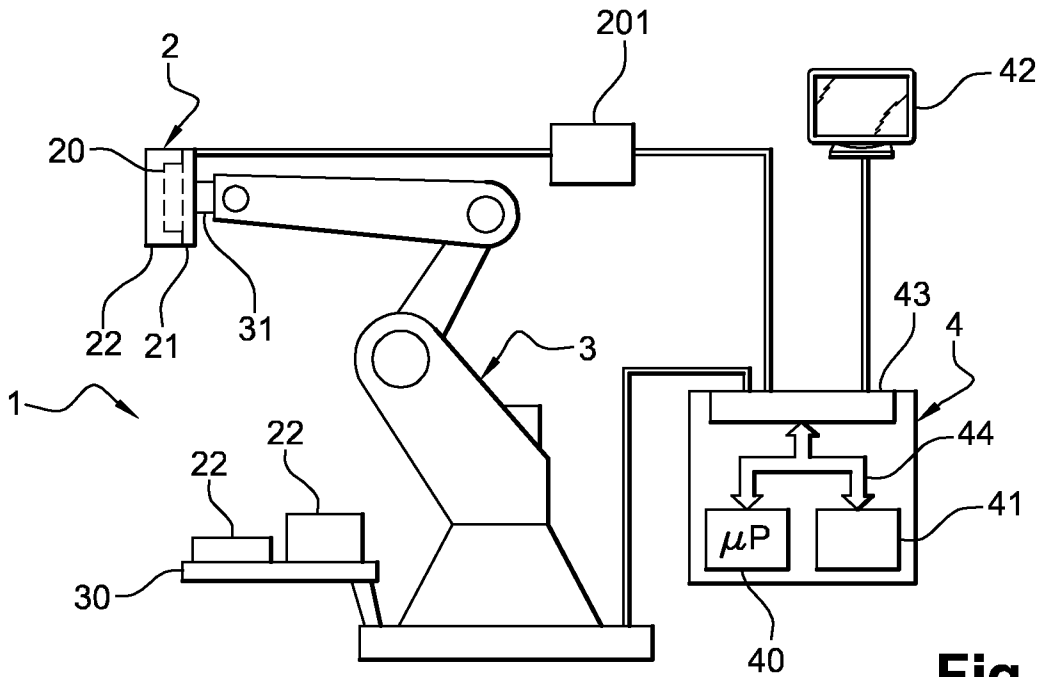


**REVENDICATIONS**

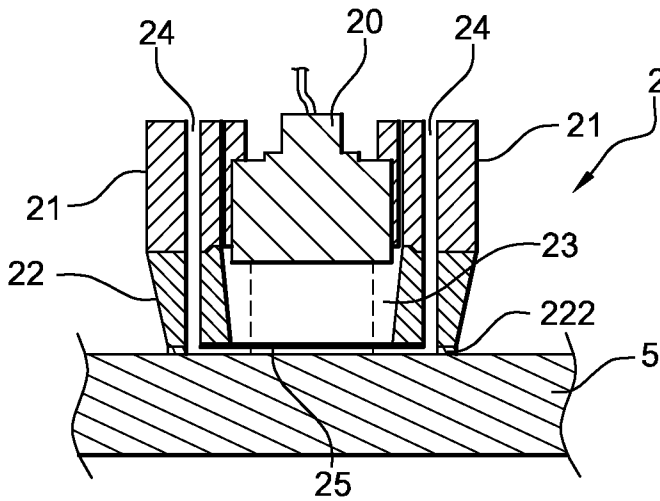
- 1 - Dispositif (1) de contrôle non-destructif par ultrasons d'une structure (5) comportant une pluralité de zones de géométries différentes, ledit dispositif comportant :
- 5 - une sonde (20) ultrasonore pour émettre des ondes ultrasonores en direction de la structure (5),
  - une tête de contrôle (2) à laquelle la sonde (20) est fixée,
  - un automate (3) portant la tête de contrôle (2),
- caractérisé en ce que la sonde (20) comporte un réseau matriciel de transducteurs élémentaires (200a, 200b) pouvant être configurés suivant
- 10 une pluralité de modes d'activation différents, et en ce que le dispositif (1) comporte :
- 15 - une pluralité d'éléments terminaux (22), chaque élément terminal comportant une interface de fixation commune à tous les éléments terminaux (22) et une surface qui lui est propre géométriquement adaptée à une zone de la structure (5),
  - des moyens de sélection d'un élément terminal (22) parmi la pluralité d'éléments terminaux et des moyens de sélection d'un mode d'activation parmi la pluralité de modes d'activation de la sonde (20) en fonction d'une géométrie d'une zone de la structure
  - 20 (5),
  - des moyens de commande d'une fixation par l'automate (3) de l'élément terminal (22) sélectionné à la tête de contrôle (2),
  - des moyens de configuration de la sonde (20) avec le mode d'activation sélectionné.
- 25 2 - Dispositif (1) selon la revendication 1, comportant des moyens de mémorisation (41) d'informations associant un élément terminal (22) et un mode d'activation à chaque zone à contrôler.
- 3 - Dispositif (1) selon la revendication 2, dans lequel les informations associent une zone de géométrie standard à chaque zone à contrôler de la
- 30 structure (5).
- 4 - Dispositif (1) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la surface propre de chaque élément terminal comporte un patin (222)

déformable.

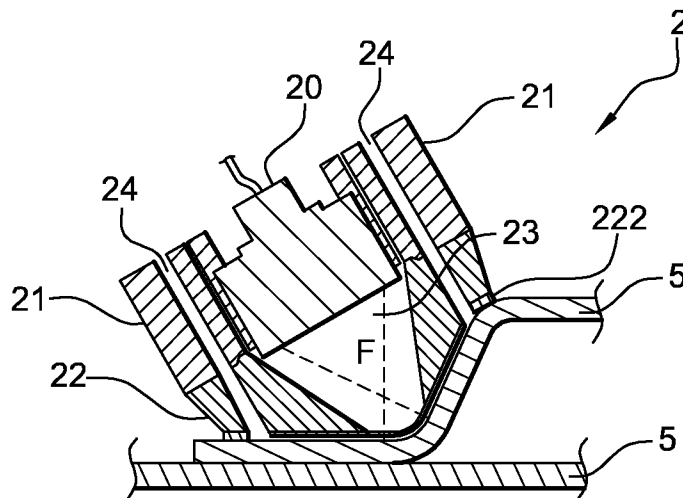
- 5 - Dispositif (1) selon l'une des revendications précédentes, comportant une pluralité de jeux d'éléments terminaux (22), chaque jeu étant adapté à des conditions particulières de contrôle.
- 5 6 - Procédé de contrôle non-destructif par ultrasons d'une structure (5), mis en œuvre par le dispositif (1) conforme à l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes de :
- 10 a) sélection d'une zone à contrôler de la structure (5),  
b) sélection d'un élément terminal (22) et sélection d'un mode d'activation de la sonde (20) en fonction d'une géométrie de la zone à contrôler,  
c) fixation de l'élément terminal (22) sélectionné à la tête de contrôle (2) et configuration de la sonde (20) en fonction du mode d'activation sélectionné,  
15 d) positionnement de la tête de contrôle (2) au voisinage de la zone à contrôler et inspection ultrasonore de ladite zone.
- 7 - Procédé selon la revendication 6, dans lequel les étapes a), b), c) et d) sont répétées pour chaque zone à contrôler de la structure (5).
- 8 - Procédé selon la revendication 6, dans lequel on sélectionne au cours de l'étape a) un ensemble de zones contrôlables avec un même élément terminal (22), on sélectionne au cours de l'étape b) un élément terminal (22)  
20 en fonction des géométries des zones de l'ensemble, et l'étape d) est exécutée avec le même élément terminal (22) pour toutes les zones de l'ensemble.
- 9 - Procédé selon l'une des revendications 6 à 8, comportant une étape  
25 préalable de détermination d'informations associant un élément terminal (22) et un mode d'activation de la sonde (20) à chaque zone à contrôler de la structure (5).



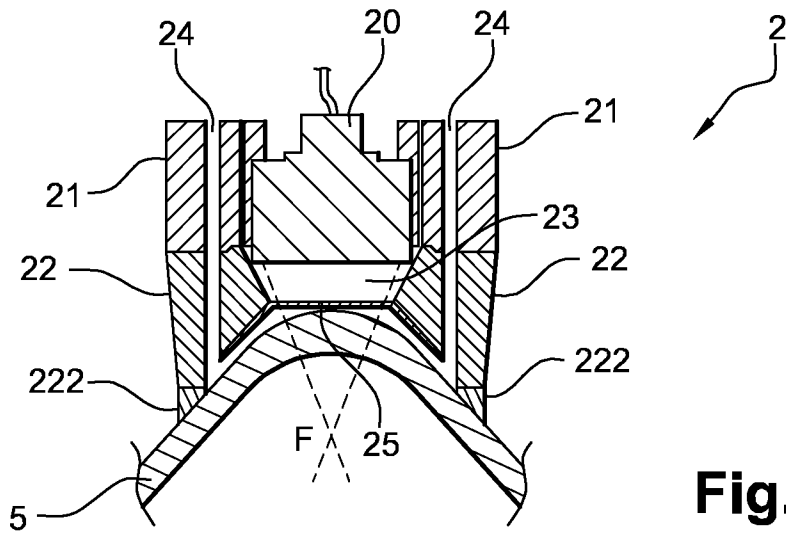
**Fig. 1**



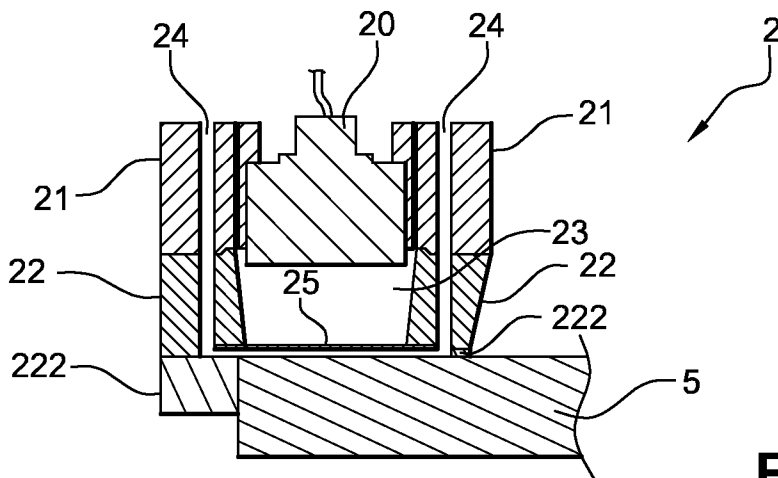
**Fig. 2a**



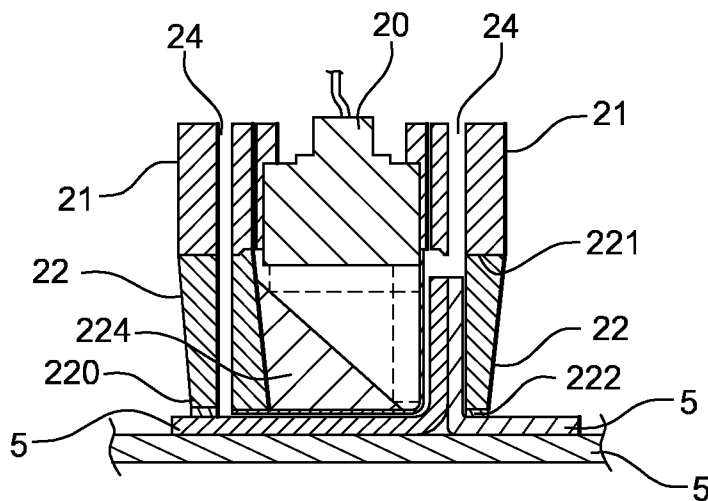
**Fig. 2b**



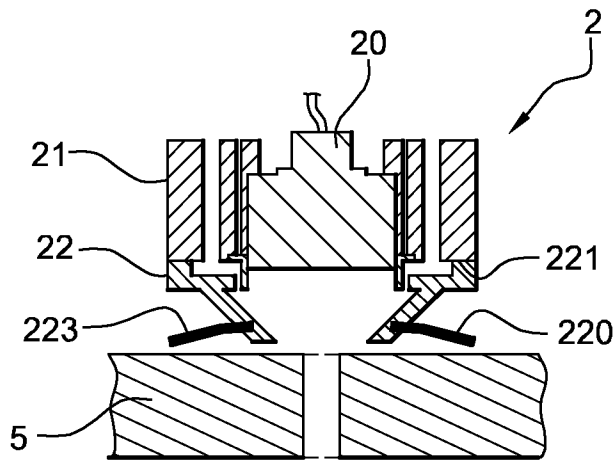
**Fig. 2c**



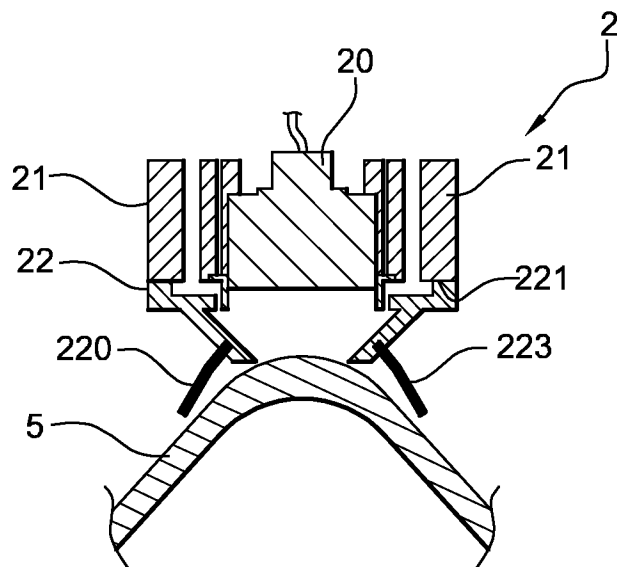
**Fig. 2d**



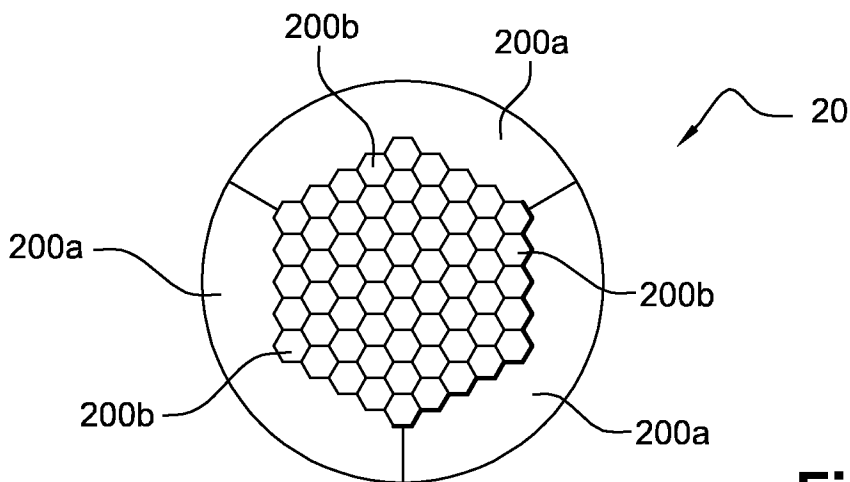
**Fig. 2e**



**Fig. 3a**



**Fig. 3b**



**Fig. 4**

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2010/053172

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 INV. G01N29/24 G01N29/28  
 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 practical, 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	US 5 728 937 A (REICHAU RALF [DE] ET AL) 17 March 1998 (1998-03-17) column 2, lines 47-50 column 2, line 66 - column 3, line 34; figures 1,2	1-9
Y	US 2007/017297 A1 (GEORGESON GARY E [US] ET AL) 25 January 2007 (2007-01-25) paragraphs [0004], [0006], [0008], [0009]; figure 1	1-9
Y	EP 1 744 157 A2 (BOEING CO [US]) 17 January 2007 (2007-01-17) paragraphs [0034], [0035]; figures 1,3  -/--	1-9

Further documents are listed in the continuation of Box C.       See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

<p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"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</p> <p>"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</p> <p>"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.</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p>
--	--

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
3 June 2010	09/06/2010

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  Wulveryck, J
--	--

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2010/053172

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	FR 2 891 909 A1 (EADS CCR GROUPEMENT D INTERET [FR]; EADS EUROP AERONAUTIC DEFENCE [FR]) 13 April 2007 (2007-04-13) page 7, lines 26-28 page 8, lines 18-31; figure 2 -----	1-9
A	EP 1 950 559 A1 (JFE STEEL CORP [JP]) 30 July 2008 (2008-07-30) paragraphs [0062], [0065], [0089]; figure 6 -----	1-9

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2010/053172

Patent document cited in search report	Publication date	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5728937	A	17-03-1998	CH 690600 A5 EP 0763732 A2	31-10-2000 19-03-1997
US 2007017297	A1	25-01-2007	GB 2442425 A WO 2007018845 A1	02-04-2008 15-02-2007
EP 1744157	A2	17-01-2007	US 2007006658 A1 US 2009064787 A1	11-01-2007 12-03-2009
FR 2891909	A1	13-04-2007	NONE	
EP 1950559	A1	30-07-2008	NONE	



# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°  
PCT/EP2010/053172

<b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b> INV. G01N29/24      G01N29/28 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			
<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	
Y	US 5 728 937 A (REICHAU RALF [DE] ET AL) 17 mars 1998 (1998-03-17) colonne 2, ligne 47-50 colonne 2, ligne 66 - colonne 3, ligne 34; figures 1,2 -----	1-9	
Y	US 2007/017297 A1 (GEORGESON GARY E [US] ET AL) 25 janvier 2007 (2007-01-25) alinéas [0004], [0006], [0008], [0009]; figure 1 -----	1-9	
Y	EP 1 744 157 A2 (BOEING CO [US]) 17 janvier 2007 (2007-01-17) alinéas [0034], [0035]; figures 1,3 ----- -/--	1-9	
<input checked="" 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  <div style="text-align: center; font-weight: bold;">3 juin 2010</div>		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale  <div style="text-align: center; font-weight: bold;">09/06/2010</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-weight: bold;">Wulveryck, J</div>	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°  
PCT/EP2010/053172

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	FR 2 891 909 A1 (EADS CCR GROUPEMENT D INTERET [FR]; EADS EUROP AERONAUTIC DEFENCE [FR]) 13 avril 2007 (2007-04-13) page 7, ligne 26-28 page 8, ligne 18-31; figure 2 -----	1-9
A	EP 1 950 559 A1 (JFE STEEL CORP [JP]) 30 juillet 2008 (2008-07-30) alinéas [0062], [0065], [0089]; figure 6 -----	1-9

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2010/053172

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5728937	A	17-03-1998	CH 690600 A5 EP 0763732 A2	31-10-2000 19-03-1997
US 2007017297	A1	25-01-2007	GB 2442425 A WO 2007018845 A1	02-04-2008 15-02-2007
EP 1744157	A2	17-01-2007	US 2007006658 A1 US 2009064787 A1	11-01-2007 12-03-2009
FR 2891909	A1	13-04-2007	AUCUN	
EP 1950559	A1	30-07-2008	AUCUN	