

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

11 N° de publication :

2 938 922

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

21 N° d'enregistrement national :

08 06588

51 Int Cl<sup>8</sup> : G 01 P 5/00 (2006.01), G 01 P 21/00

12

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 24.11.08.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 28.05.10 Bulletin 10/21.

56 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

71 Demandeur(s) : AIRBUS FRANCE Société anonyme  
— FR.

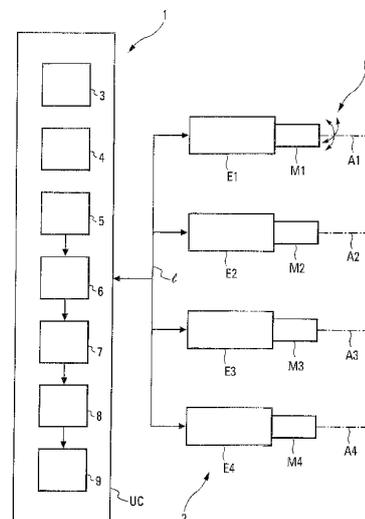
72 Inventeur(s) : PERRIE JEAN DAMIEN et PREAUX  
GUILLAUME.

73 Titulaire(s) : AIRBUS FRANCE Société anonyme.

74 Mandataire(s) : CABINET BLOCH & BONNETAT.

54 PROCÉDE ET DISPOSITIF D'OPTIMISATION DE L'ORIENTATION D'UN ANÉMOMÈTRE LASER SUR UN  
AÉRONEF.

57 Le dispositif (1) comporte des moyens (M1, UC) pour  
déterminer une orientation optimale d'un axe de visée de  
l'anémomètre (2) et pour en déduire les orientations des  
autres axes de visée.



FR 2 938 922 - A1



La présente invention concerne un procédé et un dispositif d'optimisation de l'orientation d'un anémomètre laser qui est monté sur un aéronef, en particulier un avion de transport, et qui est destiné à la mesure du vent.

5 Plus particulièrement, bien que non exclusivement, cet anémomètre laser est utilisé pour mesurer le vent lorsque l'aéronef se trouve au sol, en particulier lors d'une phase de décollage.

On sait qu'un tel anémomètre laser utilise le décalage fréquentiel que subit une onde lumineuse monochromatique, en particulier une onde laser, lorsqu'elle est rétrodiffusée par des aérosols (particules et/ou molécules) présents dans l'air. Ce décalage permet de déterminer la composante du vecteur vitesse du vent suivant l'axe de visée. Plus précisément, l'anémomètre laser émet un rayonnement laser à une distance prédéterminée de quelques mètres ou de quelques dizaines de mètres au-delà de l'aéronef et réceptionne ce rayonnement laser après rétrodiffusion par l'air. La composante du vecteur vitesse suivant l'axe laser de visée est directement liée au changement de la longueur d'onde du rayonnement laser. Ainsi, en émettant trois rayonnements laser selon trois directions différentes, l'anémomètre laser est capable de déterminer les trois composantes du vecteur vitesse du vent.

20 Par le document WO-2007/036662, on connaît un système de surveillance de paramètres anémobaroclinométriques sur un aéronef. Ce système de surveillance est destiné à surveiller la valeur de paramètres anémobaroclinométriques relatifs au vol de l'aéronef, à savoir des paramètres qui sont liés à la position et à la vitesse de l'aéronef en vol par rapport à l'air environnant. Ce système de surveillance connu prévoit

d'utiliser, en plus de dispositifs de mesure usuels comprenant des sondes connues, au moins un anémomètre laser qui est destiné à mesurer un paramètre de vitesse vraie de l'aéronef et qui est monté à l'intérieur de la structure de l'aéronef. Ce système connu est toutefois uniquement destiné à réaliser des mesures en vol. Pour son utilisation en vol, il présente de nombreux avantages, par rapport à l'emploi de sondes usuelles qui sont placées à l'extérieur de l'aéronef, et en particulier :

- une absence de traînée et de bruit ; et
- une sensibilité très réduite au givre et à la pluie.

Par ailleurs, on sait qu'il est également nécessaire de disposer de mesures précises du vent au sol, en particulier pour le fonctionnement de nouveaux systèmes utilisés au sol, qui sont destinés notamment à aider le pilotage de l'aéronef au décollage.

Il existe notamment un nouveau système destiné à améliorer la sécurité au décollage. Ce système vérifie que la préparation du décollage (chargement, calcul de performances, initialisation des systèmes) et le décollage lui-même (roulage au sol, alignement, accélération) sont réalisés de façon correcte. Un tel système d'augmentation de la sécurité lors du décollage, de type TOS (« Take-Off Securing » en anglais), présente notamment une fonction consistant à calculer la distance estimée nécessaire pour décoller, en fonction de paramètres de l'aéronef et de l'environnement, et à comparer cette distance estimée à la distance disponible. Dans ce cas, si la distance de décollage estimée est inférieure à la longueur de la piste disponible, des alertes sont déclenchées pour prévenir le pilote. Cette vérification est réalisée avant le vol, dès que tous les paramètres nécessaires ont été insérés dans le système de gestion de vol de l'aéronef, et/ou au début de l'accélération de l'aéronef, en utilisant les valeurs réelles mesurées pour certains de ces paramètres.

On connaît également un système, de type TOM (« Take-Off Monitoring » en anglais), qui est destiné à surveiller, en temps réel, l'accélération de l'aéronef au décollage. Avant le décollage, on établit, à l'aide d'un modèle, un profil théorique de la vitesse au sol, en fonction de la distance parcourue et de paramètres à insérer par l'équipage. Pendant l'accélération au décollage, et ce jusqu'à une vitesse prédéterminée, le profil courant de la vitesse au sol (en fonction de la distance) est comparé à ce profil théorique, et une alarme est déclenchée si une performance insuffisante est détectée.

Les systèmes précédents, qui sont activés au sol, utilisent pour leur fonctionnement, en entrée de modèles de calcul de performances, des données de vent et de température. De plus, le système de surveillance de type TOM utilise également la vitesse vraie de l'aéronef. Or, la précision et l'intégrité des mesures de ces paramètres, réalisées au sol par un anémomètre laser, sont actuellement insuffisantes pour que l'on puisse utiliser ces mesures dans les calculs de performances précités.

La présente invention a pour objet de remédier à ces inconvénients. Elle concerne un procédé pour optimiser automatiquement l'orientation d'un anémomètre laser (qui est monté sur un aéronef et qui est destiné à la mesure du vent), de façon à pouvoir réaliser des mesures de vent optimales au sol, ledit anémomètre laser comprenant au moins trois axes laser différents selon lesquels sont réalisées des mesures.

A cet effet, selon l'invention, ledit procédé est remarquable en ce que l'on réalise, de façon automatique, la suite d'étapes successives suivante, sur l'aéronef qui est au sol :

a) pour l'un desdits axes laser de l'anémomètre laser, dit axe maître, on réalise, pour une pluralité d'orientations différentes de cet axe maître, à chaque fois une mesure de la vitesse du vent au sol selon cet axe maître, on détermine ensuite à chaque fois à partir de cette mesure la

norme du vecteur vitesse du vent projeté sur cet axe maître, on compare entre elles les normes obtenues à partir des mesures réalisées pour ladite pluralité d'orientations différentes, et on sélectionne, comme orientation dudit axe maître, celle pour laquelle la norme correspondante du vecteur vitesse présente la valeur la plus élevée ;

5 b) on détermine les orientations d'au moins deux autres axes laser dudit anémomètre laser, en sélectionnant des orientations qui sont symétriques de ladite orientation sélectionnée pour l'axe maître, par rapport respectivement à deux plans de référence qui sont définis relativement  
10 à la structure de l'aéronef ; et

c) on fixe les orientations des axes laser de l'anémomètre laser auxdites orientations ainsi sélectionnées, suivant lesquelles l'anémomètre laser peut alors réaliser des mesures du vent (qui sont particulièrement précises).

15 Ainsi, grâce à l'invention, on optimise au sol l'orientation des axes laser d'un anémomètre laser qui est monté sur un aéronef de manière à obtenir, selon l'axe maître, la valeur du vent la plus élevée possible. Par conséquent, on est en mesure de réaliser, à l'aide de cet anémomètre laser à positionnement optimisé, des mesures très précises du vent existant  
20 au sol.

Ces mesures du vent très précises peuvent notamment être utilisées dans les systèmes de sécurité et de surveillance précités, qui sont actifs lors du décollage d'un aéronef, comme indiqué ci-dessus.

Dans le cadre de la présente invention, lesdits plans de référence  
25 peuvent correspondre à tous types de plans qui peuvent être définis exactement par rapport à la structure de l'aéronef. Toutefois, dans un mode de réalisation préféré, lesdits plans de référence sont deux plans qui sont orthogonaux entre eux, dont un premier plan est également orthogonal à

l'axe longitudinal de l'aéronef. De plus, de préférence, le second plan est parallèle à l'axe longitudinal de l'aéronef (ou comprend ce dernier).

En outre, dans un mode de réalisation préféré, ledit procédé est destiné à un anémomètre laser comprenant, en plus des trois axes laser précités, un quatrième axe laser (ou axe de visée), et il est tel que :

- à l'étape b), on sélectionne, comme orientation pour ce quatrième axe laser, l'orientation correspondant à celle obtenue par une double symétrie (respectivement par rapport auxdits deux plans de référence) de l'orientation sélectionnée pour ledit axe maître ; et
- à l'étape c), on fixe les orientations des quatre axes laser de l'anémomètre laser auxdites orientations ainsi sélectionnées, suivant lesquelles l'anémomètre laser peut réaliser des mesures du vent.

Comme précisé ci-dessous, l'utilisation d'un quatrième axe de visée pour l'anémomètre laser permet d'obtenir les avantages suivants :

- une possibilité de vérification des mesures réalisées selon les trois autres axes ;
- une intégrité de la mesure ; et
- une installation symétrique sur l'aéronef.

Par ailleurs, de façon avantageuse, pour sélectionner les orientations des axes laser, on tient également compte d'une information du vent qui est par exemple fournie par la tour de contrôle de l'aéronef. Cette information de vent est prise en compte dans le but d'éviter des changements de signes intempestifs lors de la mesure de vecteurs vitesse du vent.

En outre, dans un mode de réalisation particulier, on agence cet anémomètre laser sur l'aéronef de sorte que ses axes laser sont situés :

- sur le haut du fuselage dudit aéronef ; et/ou
- à au moins une distance prédéterminée d'une antenne dudit aéronef.

La présente invention concerne également un dispositif d'optimisation automatique de l'orientation d'un anémomètre laser qui est monté sur un aéronef et qui est destiné à la mesure du vent, ledit anémomètre laser comprenant au moins trois axes laser selon lesquels peuvent être réalisées des mesures à l'aide de moyens de mesure usuels commandables.

Selon l'invention, ledit dispositif est remarquable en ce qu'il comporte :

- un ensemble de premiers moyens commandables, qui sont susceptibles de modifier automatiquement l'orientation des axes laser de l'anémomètre laser, auxquels ils sont associés respectivement ;
- un élément pour commander automatiquement les premiers moyens qui sont associés à l'un desdits axes laser de l'anémomètre laser, dit axe maître, de manière à pouvoir l'amener à une pluralité d'orientations différentes ;
- un élément pour commander (ou déclencher) automatiquement lesdits moyens de mesure dudit axe maître de sorte qu'ils réalisent successivement, pour chacune de ladite pluralité d'orientations différentes de cet axe maître, une mesure de la vitesse du vent au sol selon cet axe maître ;
- un élément pour déterminer automatiquement, à partir de chacune de ces mesures, la norme du vecteur vitesse du vent projeté sur l'axe maître ;
- un élément pour comparer automatiquement, entre elles, les normes obtenues à partir des mesures réalisées pour ladite pluralité d'orientations différentes ;
- un élément pour sélectionner automatiquement, comme orientation dudit axe maître, celle pour laquelle la norme correspondante du vecteur vitesse présente la valeur la plus élevée ;

- un élément pour déterminer automatiquement les orientations d'au moins deux autres axes laser dudit anémomètre laser, en sélectionnant des orientations qui sont symétriques de ladite orientation sélectionnée pour l'axe maître, par rapport respectivement à deux plans de référence qui sont définis relativement à la structure de l'aéronef ; et
- un élément pour commander automatiquement l'ensemble desdits premiers moyens de manière à fixer les orientations des axes laser de l'anémomètre laser auxdites orientations ainsi sélectionnées, suivant lesquelles l'anémomètre laser peut alors réaliser des mesures du vent à l'aide desdits moyens de mesure.

Par ailleurs, la présente invention concerne également :

- un anémomètre laser comprenant au moins trois axes laser selon lesquels peuvent être réalisées des mesures à l'aide de moyens de mesure, ainsi qu'un dispositif d'optimisation tel que celui précité ; et
- un aéronef, en particulier un avion de transport civil, qui comporte un tel anémomètre laser.

Les figures du dessin annexé feront bien comprendre comment l'invention peut être réalisée. Sur ces figures, des références identiques désignent des éléments semblables.

La figure 1 est le schéma synoptique d'un dispositif conforme à l'invention.

La figure 2 illustre schématiquement une unité de mesure d'un anémomètre laser.

La figure 3 est un schéma permettant d'expliquer la manière dont est déterminée l'orientation d'un axe maître.

La figure 4 est une vue en plan permettant d'expliquer comment sont déterminées les orientations des autres axes laser à partir de l'axe maître.

La figure 5 montre schématiquement un exemple d'orientation des axes laser d'un anémomètre sur le haut du fuselage d'un aéronef.

Le dispositif 1 conforme à l'invention et représenté schématiquement sur la figure 1 est destiné à optimiser l'orientation d'un anémomètre laser 2 qui est monté sur un aéronef A, notamment un avion de transport. Cet anémomètre laser 2, qui sera décrit davantage ci-dessous en référence à la figure 2, comporte au moins trois ensembles de mesure E1, E2 et E3 comprenant des moyens de mesure intégrés qui permettent de réaliser des mesures du vent selon respectivement trois axes lasers (ou axes de visée) différents A1, A2 et A3.

Dans un mode de réalisation préféré, ledit anémomètre laser 2 comporte un quatrième ensemble de mesure E4 qui est destiné à réaliser des mesures selon un quatrième axe laser A4.

Ledit dispositif 1 conforme à l'invention, qui a donc pour objet d'optimiser l'orientation des axes A1 à A3 (et éventuellement A4) dudit anémomètre laser 2, est embarqué sur l'aéronef A et comporte, comme représenté sur la figure 1 :

- un ensemble de moyens M1 à M3 commandables, dont chacun est associé à l'un des ensembles de mesure E1 à E3. Ces moyens M1 à M3 sont susceptibles de modifier automatiquement l'orientation des axes laser A1 à A3 de l'anémomètre laser 2, auxquels ils sont associés respectivement, comme illustré par des flèches B pour l'axe A1 de la figure 1 ;
- un élément 3 pour commander automatiquement les moyens M1, M2 ou M3 qui sont associés à l'un desdits axes laser de l'anémomètre laser 2, dit axe maître (choisi au hasard), par exemple l'axe A1, de manière à l'orienter successivement suivant une pluralité d'orientations différentes. Cette commande automatique est réalisée par l'intermédiaire d'une liaison non représentée ;

- un élément 4 pour déclencher ou commander automatiquement lesdits moyens de mesure selon ledit axe maître A1 de sorte qu'ils réalisent, pour chacune de ladite pluralité d'orientations différentes de cet axe maître A1, à chaque fois une mesure de la vitesse du vent au sol selon cet axe maître A1 ;  
5
- un élément 5 pour déterminer automatiquement, à partir de chaque mesure reçue desdits moyens de mesure (pour cette pluralité d'orientations), la norme du vecteur vitesse du vent projeté sur l'axe maître A1. Dans un mode de réalisation particulier, cette norme peut être calculée par les moyens de mesure et être reçue directement desdits moyens de mesure par l'élément 5 qui est, dans ce cas, un élément de réception de données ;  
10
- un élément 6 pour comparer automatiquement, entre elles, les normes obtenues à partir des mesures réalisées pour ladite pluralité d'orientations différentes ;  
15
- un élément 7 pour sélectionner automatiquement, comme orientation dudit axe maître A1, celle pour laquelle la norme correspondante du vecteur vitesse présente la valeur la plus élevée ;
- un élément 8 pour déterminer automatiquement les orientations d'au moins deux autres axes laser A2, A3 dudit anémomètre laser 2, en sélectionnant des orientations qui sont symétriques de ladite orientation sélectionnée pour l'axe maître A1, par rapport respectivement à deux plans de référence P1 et P2 qui sont définis relativement à la structure F de l'aéronef A ; et  
20
- un élément 9 pour commander automatiquement l'ensemble desdits moyens M1, M2 et M3 par l'intermédiaire de liaisons non représentées de manière à fixer les orientations des axes laser A1, A2 et A3 de l'anémomètre 2 auxdites orientations ainsi sélectionnées, suivant les-  
25

quelles l'anémomètre laser 2 peut alors réaliser des mesures du vent à l'aide des moyens de mesure (desdits ensembles de mesure E1 à E3).

Dans un mode de réalisation préféré, lesdits éléments 3 à 9 (ou au moins certains d'entre eux) sont regroupés dans une unique unité centrale UC qui est reliée auxdits ensembles de mesure E1 à E3, par l'intermédiaire de liaisons  $\ell$ .

Ainsi, le dispositif 1 conforme à l'invention permet d'optimiser l'orientation des axes laser A1 à A3 de l'anémomètre laser 2 qui est monté sur un aéronef A. Par conséquent, cet anémomètre laser 2 est apte à réaliser des mesures très précises du vent existant au sol.

Ces mesures du vent très précises peuvent notamment être utilisées dans des systèmes de sécurité et de surveillance usuels, qui sont actifs lors du décollage d'un aéronef.

En outre, le dispositif 1 réalise l'optimisation de façon automatique, ce qui permet de réduire la charge de travail de l'équipage de l'aéronef (qui consiste simplement à déclencher cette optimisation à l'aide de moyens non représentés).

On sait qu'un anémomètre laser 2 exploite la rétrodiffusion d'une onde lumineuse sur des inhomogénéités de l'air, dues à des molécules ou des particules entraînées par le vent. Un anémomètre laser 2 comporte au moins une unité de mesure UM telle que celle représentée sur la figure 2. Cette unité de mesure UM comporte, de façon générale au moins :

- une source laser 11 pour engendrer un rayonnement laser ;
- un moyen de séparation et de couplage 12 qui est relié à la source laser 11 par l'intermédiaire d'une liaison 13 et qui est, de plus, relié à une tête optique 14, par exemple via une fibre optique 15. Cette tête optique 14 définit un axe laser de visée  $A_i$  ;
- un moyen de détection 16 qui est relié audit moyen de séparation et de couplage 12 par l'intermédiaire d'une liaison 17 ; et

- un moyen de traitement 18 qui est relié par l'intermédiaire d'une liaison 19 audit moyen de détection 16.

Cette unité de mesure UM fonctionne comme suit. Un rayonnement laser, présentant une fréquence optique donnée, est engendré par la source laser 11 et est émis à l'extérieur de l'aéronef A, via ladite tête optique 14, le long de l'axe de visée  $A_i$ , dans un très petit volume de mesure  $V_{Mi}$ , par exemple de 2 centimètres de large et de 20 micromètres de diamètre, comme représenté sur la figure 3. Le signal optique de retour, qui résulte de la rétrodiffusion d'une particule ou molécule unique traversant le volume de mesure  $V_{Mi}$ , est détecté. Ce signal optique est ensuite transposé en un signal électrique. Le moyen de traitement 18 récupère, grâce à un traitement du signal adapté, la vitesse selon l'axe laser  $A_i$ , à l'aide de la relation (1) suivante :

$$\Delta f = (2 \cdot \overline{V_p} \cdot \overline{e_{zi}}) / \lambda_0 \quad (1)$$

dans laquelle :

- $\Delta f$  est le décalage fréquentiel (dû à un effet Doppler) entre la fréquence  $f_0$  du rayonnement laser émis et la fréquence  $f_1$  du rayonnement laser détecté après rétrodiffusion, de sorte que  $\Delta f = f_1 - f_0$  ;
- $\overline{V_p}$  est le vecteur vitesse du vent ;
- $\overline{e_{zi}}$  est le vecteur directeur unitaire de l'axe  $A_i$  ; et
- $\lambda_0$  est la longueur d'onde du rayonnement laser émis.

On notera que la source laser 11 utilisée dans l'anémomètre laser 2 apporte sa cohérence spatiale et spectrale, ainsi qu'une forte intensité. En outre, elle peut être modulée à haute fréquence ou sous forme d'impulsions brèves et puissantes. On sait que la diffusion de la lumière sur les inhomogénéités de l'atmosphère dépend principalement de la dimension relative de ces inhomogénéités par rapport à la longueur d'onde du rayonnement laser émis. Si cette dimension est proche de la longueur

d'onde, le régime de diffusion est le régime de Mie. En revanche, si la dimension relative de l'inhomogénéité est très petite par rapport à la longueur d'onde, le régime de diffusion est le régime de Rayleigh. Généralement, un anémomètre utilise la diffusion de Mie sur les aérosols naturels, surtout à basse altitude où la densité des aérosols est importante. En haute altitude, la densité décroît fortement, et la diffusion moléculaire devient intéressante. Les molécules (diffusion de Rayleigh) présentent une taille d'une centaine de nanomètres, et les particules (diffusion de Mie) présentent un diamètre variant de un micromètre à dix micromètres.

En outre, le moyen de séparation et de couplage 12 permet de séparer la puissance optique en une partie qui est émise vers l'extérieur de l'aéronef A et qui est destinée à la mesure optique, et une partie qui est transmise à un oscillateur local qui possède les mêmes caractéristiques que la source laser 11. Le moyen 12 permet également de coupler la puissance optique de retour et une référence, afin de rendre à chacune des voies la même puissance optique en vue d'une détection cohérente par le moyen de détection 16. Le moyen de détection 16 permet de transformer le signal optique provenant des deux voies en un signal électrique.

En outre, un amplificateur est intégré dans l'ensemble optique d'émission. Il permet d'amplifier la faible puissance de la source laser 11 pour envoyer à l'extérieur de l'aéronef A une puissance suffisante, afin de pouvoir récupérer un signal de retour.

Quant à la tête optique 14, elle comprend un ensemble d'éléments optiques qui peuvent être optimisés pour compenser des défauts optiques tels qu'un astigmatisme, des aberrations sphériques, ... La tête optique 14 présente deux fonctions, à savoir :

- concentrer le faisceau laser dans le volume de mesure VMi ; et
- transformer les propriétés de polarisation de la lumière, pour optimiser le signal lumineux de retour.

Cette tête optique 14 est placée en face d'une fenêtre optique (non représentée) qui est prévue dans la structure F de l'aéronef A, et qui correspond à un hublot permettant la transmission du rayonnement laser à l'extérieur de l'aéronef A.

5 Comme indiqué précédemment, conformément à l'invention, pour déterminer l'orientation optimale de l'axe maître, on prévoit différentes orientations dudit axe maître, par exemple l'axe  $A_i$  de la figure 3, qui correspondent à chaque fois à une valeur particulière des angles  $\theta_i$  et  $\varphi_i$  représentés sur cette figure 3, et on réalise une mesure de la vitesse du  
10 vent selon cet axe  $A_i$  pour chacune de ces orientations. Dans l'exemple de la figure 3, l'angle  $\varphi_i$  est l'angle entre l'axe laser  $A_i$  (de direction  $\overrightarrow{ey_i}$ ) et un axe  $ez$ , et l'angle  $\theta_i$  est l'angle entre la projection  $ey_j$  de l'axe  $A_i$  sur un plan  $Oexy$  et un axe  $ey$ . Les axes  $ex$ ,  $ey$  et  $ez$  sont tels qu'ils forment deux plans  $Oexy$  et  $Oeyz$  qui sont orthogonaux,  $Oeyz$  étant de plus  
15 orthogonal à l'axe longitudinal de l'aéronef A, et  $Oexy$  coupant  $Oeyz$  orthogonalement au niveau d'un point O qui est situé sur la face externe du fuselage F de l'aéronef A.

A partir de chacune de ces mesures, l'élément 5 déduit la norme  $N_i$  du vecteur vitesse  $\overrightarrow{V_p}$  projeté sur l'orientation  $\overrightarrow{ey_i}$  correspondante de  
20 l'axe maître  $A_i$ , en utilisant la relation (1) précitée. L'élément 6 compare entre elles les normes  $N_i$  obtenues pour les différentes orientations envisagées, c'est-à-dire pour les différents couples de valeurs (par exemple  $\varphi_{iA}$ ,  $\theta_{iA}$  ;  $\varphi_{iB}$ ,  $\theta_{iB}$  ;  $\varphi_{iC}$ ,  $\theta_{iC}$ , ...) pour les angles  $\varphi_i$  et  $\theta_i$ . L'élément 7 en déduit que le couple de valeurs (par exemple  $\varphi_{iB}$  et  $\theta_{iB}$ ) correspondant à  
25 l'orientation sélectionnée représente celui pour lequel la norme est la plus élevée, c'est-à-dire pour lequel la vitesse projetée sur cette orientation est la plus importante.

L'élément 8 détermine, ensuite, les autres axes laser A2 et A3 par une simple opération de symétrie de l'axe maître A1, par rapport aux plans de référence P1 et P2, comme représenté sur la figure 4. Dans l'exemple de la figure 4, le plan P1 est un plan vertical passant par l'axe longitudinal de l'aéronef A, et le plan P2 est un plan vertical qui est orthogonal audit plan P1.

Ainsi, l'orientation des axes laser A1 à A3 est optimisée afin de récupérer la meilleure projection du vecteur vitesse vent  $\vec{V}_p$  sur chacun de ces axes laser A1 et A3.

Dans un mode de réalisation particulier, cette orientation des axes laser A1 à A3 est également optimisée de manière à éviter des changements de signe intempestifs lors de la mesure des vecteurs vitesse sur les axes laser. De tels changements de signe peuvent apparaître en fonction de la position relative de l'aéronef A par rapport à la direction du vent. Afin d'éviter un tel problème de changement de signe intempestif, le dispositif 1 utilise, en entrée, la mesure du vent, qui lui est par exemple fournie par la tour de contrôle (notamment par l'intermédiaire de moyens de liaison usuels entre cette dernière et l'aéronef A), et engendre une orientation mécanique de l'axe laser, en fonction de cette direction du vent et de la position relative de l'aéronef A.

La prise en compte de la donnée du vent peut être réalisée manuellement (par le pilote) ou automatiquement.

Pour une prise en compte automatique, on peut mettre en œuvre les étapes suivantes :

- on scanne l'axe maître dans le plan Oexey, par sauts de valeurs d'angle, et on mesure la projection du vent par dichotomie. On détermine ainsi une valeur maximale de la projection ;
- une fois cette opération réalisée dans le plan Oexey, on scanne dans un plan Oex'ez (où ex' est un axe choisi dans le plan Oexey), de la même

façon, par sauts de valeurs d'angle, et de la même façon, on réalise une recherche par dichotomie de la valeur maximale de la projection ; et

- l'axe laser se positionne alors après avoir déterminé le maximum de la projection (projection maximale en valeur absolue, car le vent peut exister dans toutes les directions possibles).

Pour une prise en compte manuelle, le pilote entre une donnée fournie par la tour de contrôle, et l'axe laser vient se positionner afin d'avoir une projection maximale du vecteur vent sur l'axe laser. Cette première orientation permet d'initialiser l'axe maître, avant d'enchaîner sur une recherche automatique (telle que celle précisée ci-dessus). La recherche de la direction optimisée est donc, de ce fait, plus rapide.

Dans un mode de réalisation préféré, on prévoit un quatrième axe laser A4. Dans ce mode de réalisation préféré :

- l'élément 8 sélectionne, comme orientation pour le quatrième axe laser A4, l'orientation correspondant à celle obtenue par une double symétrie, respectivement par rapport auxdits deux plans de référence P1 et P2, de l'orientation sélectionnée pour ledit axe maître A1. Dans l'exemple des plans de référence P1 et P2 orthogonaux de la figure 4, l'axe laser A4 est symétrique de l'axe laser A2 par rapport au plan P2 et il est symétrique de l'axe laser A3 par rapport au plan P1 ; et
- l'élément 9 fixe les orientations des quatre axes laser A1 à A4 de l'anémomètre laser 2 auxdites orientations ainsi sélectionnées, suivant lesquelles l'anémomètre laser 2 peut alors réaliser des mesures du vent.

L'utilisation d'un quatrième axe laser de visée A4 pour l'anémomètre laser 2 permet d'obtenir les avantages suivants :

- une possibilité de vérification des mesures réalisées selon les trois autres axes A1, A2 et A3 ;
- une intégrité de la mesure ; et

- une installation symétrique sur l'aéronef A, telle que représentée par exemple sur la figure 4.

Dans un mode de réalisation préféré, comme représenté à titre d'illustration sur la figure 5 sur laquelle on a représenté les quatre axes laser de visée A1 à A4, l'anémomètre laser 2 présente les caractéristiques

5

suivantes :

- ses axes laser A1 à A4 sont prévus sur le haut du fuselage F de l'aéronef A ;
- ses axes laser A1 à A4 ne sont pas placés à proximité d'une antenne, pour éviter des interactions ou le masquage des rayonnements laser ; et
- il est intégré de manière à permettre une rotation des têtes optiques 14, afin d'optimiser au mieux les angles des axes laser A1 à A4 avec la direction du vent.

10

Dans le cadre de la présente invention, l'anémomètre laser 2 peut correspondre à tout anémomètre laser susceptible de réaliser des mesures du vecteur vitesse du vent selon au moins trois axes laser (axes de visée) différents, et de préférence selon quatre axes laser différents, quelle que soit sa réalisation technique. En particulier, chaque ensemble de mesure E1, E2, E3, E4 de l'anémomètre 2 peut comporter, séparément, une unité de mesure UM telle que celle représentée sur la figure 2.

15

20

Il est également envisageable que les différents ensembles de mesure E1 à E4 de l'anémomètre 2 comprennent des éléments communs, notamment la source laser 11, et que seuls certains éléments sont prévus séparément et individuellement pour chaque ensemble de mesure E1 à E4.

25

A titre d'exemple, chaque ensemble de mesure E1 à E4 peut comporter une tête optique 14 individuel et chacune de ces têtes optiques 14 peut être reliée par une fibre optique 15 individuel au moyen de séparation et de couplage 16 qui est, quant à lui, commun auxdits ensembles de me-

sure E1 à E4, ainsi que tous les autres éléments 11, 16 et 18 représentés sur la figure 2.

Par ailleurs, dans le cadre de la présente invention, la modification de l'orientation d'un axe laser A1 à A4 (à l'aide des moyens M1 à M4) peut être réalisée de différentes manières. A titre d'illustration, cette modification de l'orientation peut, par exemple, être réalisée par un déplacement angulaire de la tête optique 14 ou bien par le réglage d'éléments optiques faisant par exemple partie de la tête optique 14 (qui peut être fixe dans ce cas).

On notera que les moyens de modification de l'orientation sont des moyens mécaniques. On peut envisager une seule tête mécanique avec quatre viseurs optiques indépendants, ou encore un seul laser fournissant quatre sources grâce à des séparateurs et un ensemble piézoélectrique permettant le mouvement indépendant de quatre miroirs en 3 dimensions.

## REVENDEICATIONS

1. Procédé d'optimisation de l'orientation d'un anémomètre laser (2) qui est monté sur un aéronef (A) et qui est destiné à la mesure du vent, ledit anémomètre laser (2) comprenant au moins trois axes laser (A1, A2, A3) selon lesquels sont réalisées des mesures, et dont chacun est orientable,

caractérisé en ce que l'on réalise, de façon automatique, la suite d'étapes successives suivante, sur l'aéronef (A) qui est au sol :

a) pour l'un (A1) desdits axes laser de l'anémomètre laser (2), dit axe maître, on réalise, pour une pluralité d'orientations différentes de cet axe maître (A1), à chaque fois une mesure de la vitesse du vent au sol selon cet axe maître (A1), on détermine à chaque fois à partir de cette mesure la norme du vecteur vitesse ( $\overline{V_p}$ ) du vent projeté sur cet axe maître (A1), on compare entre elles les normes obtenues à partir des mesures réalisées pour ladite pluralité d'orientations différentes, et on sélectionne, comme orientation dudit axe maître (A1), celle pour laquelle la norme correspondante du vecteur vitesse présente la valeur la plus élevée ;

b) on détermine les orientations d'au moins deux autres axes laser (A2, A3) dudit anémomètre laser (2), en sélectionnant des orientations qui sont symétriques de ladite orientation sélectionnée pour l'axe maître (A1), par rapport respectivement à deux plans de référence (P1, P2) qui sont définis relativement à la structure (F) de l'aéronef (A) ; et

c) on fixe les orientations des axes laser (A1, A2, A3) de l'anémomètre laser (2) auxdites orientations ainsi sélectionnées, suivant lesquelles l'anémomètre laser (2) peut alors réaliser des mesures du vent.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits plans de référence (P1, P2) sont deux plans qui sont orthogonaux entre eux, dont l'un (P2) est, de plus, orthogonal à l'axe longitudinal de l'aéronef (A).

5 3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, pour un anémomètre laser (2) comprenant, en plus desdits trois axes laser (A1, A2, A3), un quatrième axe laser (A4), caractérisé en ce que :

- 10 – à l'étape b), on sélectionne, comme orientation pour le quatrième axe laser (A4), l'orientation correspondant à celle obtenue par une double symétrie, respectivement par rapport auxdits deux plans de référence (P1, P2), de l'orientation sélectionnée pour ledit axe maître (A1) ; et
- à l'étape c), on fixe les orientations des quatre axes laser (A1, A2, A3, A4) de l'anémomètre laser (2) auxdites orientations ainsi sélectionnées, 15 suivant lesquelles l'anémomètre laser (2) peut réaliser des mesures du vent.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 3, caractérisé en ce que, pour sélectionner les orientations des axes laser, on 20 tient compte d'une information du vent, dans le but d'éviter des changements de signes intempestifs lors de la mesure de vecteurs vitesse du vent.

5. Procédé selon l'un quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'on agence l'anémomètre laser (2) sur l'aéronef (A) de sorte que ses axes laser (A1 à A3) sont situés sur le haut du fuselage 25 (F) dudit aéronef (A).

6. Procédé selon l'un quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que l'on agence l'anémomètre laser (2) sur l'aéronef (A) de sorte que ses axes laser (A1 à A3) sont situés à au moins une distance prédéterminée d'une antenne dudit aéronef (A).

7. Dispositif d'optimisation de l'orientation d'un anémomètre laser (2) qui est monté sur un aéronef (A) et qui est destiné à la mesure du vent, ledit anémomètre laser (2) comprenant au moins trois axes laser (A1 à A3) selon lesquels peuvent être réalisées des mesures à l'aide de
- 5 moyens de mesure commandables,
- caractérisé en ce qu'il comporte :
- un ensemble de premiers moyens (M1 à M3) commandables, qui sont susceptibles de modifier automatiquement l'orientation des axes laser (A1 à A3) de l'anémomètre laser (2), auxquels ils sont associés respec-
  - 10 tivement :
  - un élément (3) pour commander automatiquement les premiers moyens (M1 à M3) qui sont associés à l'un desdits axes laser (A1) de l'anémomètre laser (2), dit axe maître, de manière à pouvoir l'amener à une pluralité d'orientations différentes ;
  - 15 – un élément (4) pour commander automatiquement lesdits moyens de mesure dudit axe maître (A1) de sorte qu'ils réalisent, pour ladite pluralité d'orientations différentes de cet axe maître (A1), à chaque fois une mesure de la vitesse du vent au sol selon cet axe maître (A1) ;
  - un élément (5) pour déterminer automatiquement, à partir de chacune
  - 20 de ces mesures, la norme du vecteur vitesse du vent projeté sur l'axe maître (A1) ;
  - un élément (6) pour comparer automatiquement entre elles les normes obtenues à partir des mesures réalisées pour ladite pluralité d'orientations différentes ;
  - 25 – un élément (7) pour sélectionner automatiquement, comme orientation dudit axe maître (A1), celle pour laquelle la norme correspondante du vecteur vitesse présente la valeur la plus élevée ;
  - un élément (8) pour déterminer automatiquement les orientations d'au moins deux autres axes laser (A2, A3) dudit anémomètre laser (2), en

sélectionnant des orientations qui sont symétriques de ladite orientation sélectionnée pour l'axe maître (A1), par rapport respectivement à deux plans de référence (P1, P2) qui sont définis relativement à la structure (F) de l'aéronef (A) ; et

- 5 – un élément (9) pour commander automatiquement l'ensemble desdits premiers moyens (M1 à M3) de manière à fixer les orientations des axes laser de l'anémomètre laser (2) auxdites orientations ainsi sélectionnées, suivant lesquelles l'anémomètre laser (2) peut alors réaliser des mesures du vent à l'aide desdits moyens de mesure.

10 8. Anémomètre laser comprenant au moins trois axes laser (A1 à A3) selon lesquels peuvent être réalisées des mesures à l'aide de moyens de mesure, caractérisé en ce qu'il comporte, de plus, un dispositif d'optimisation (1) tel que celui spécifié sous la revendication 7.

15 9. Aéronef, caractérisé en ce qu'il comprend un anémomètre laser (2) tel que celui spécifié sous la revendication 8.

1/4

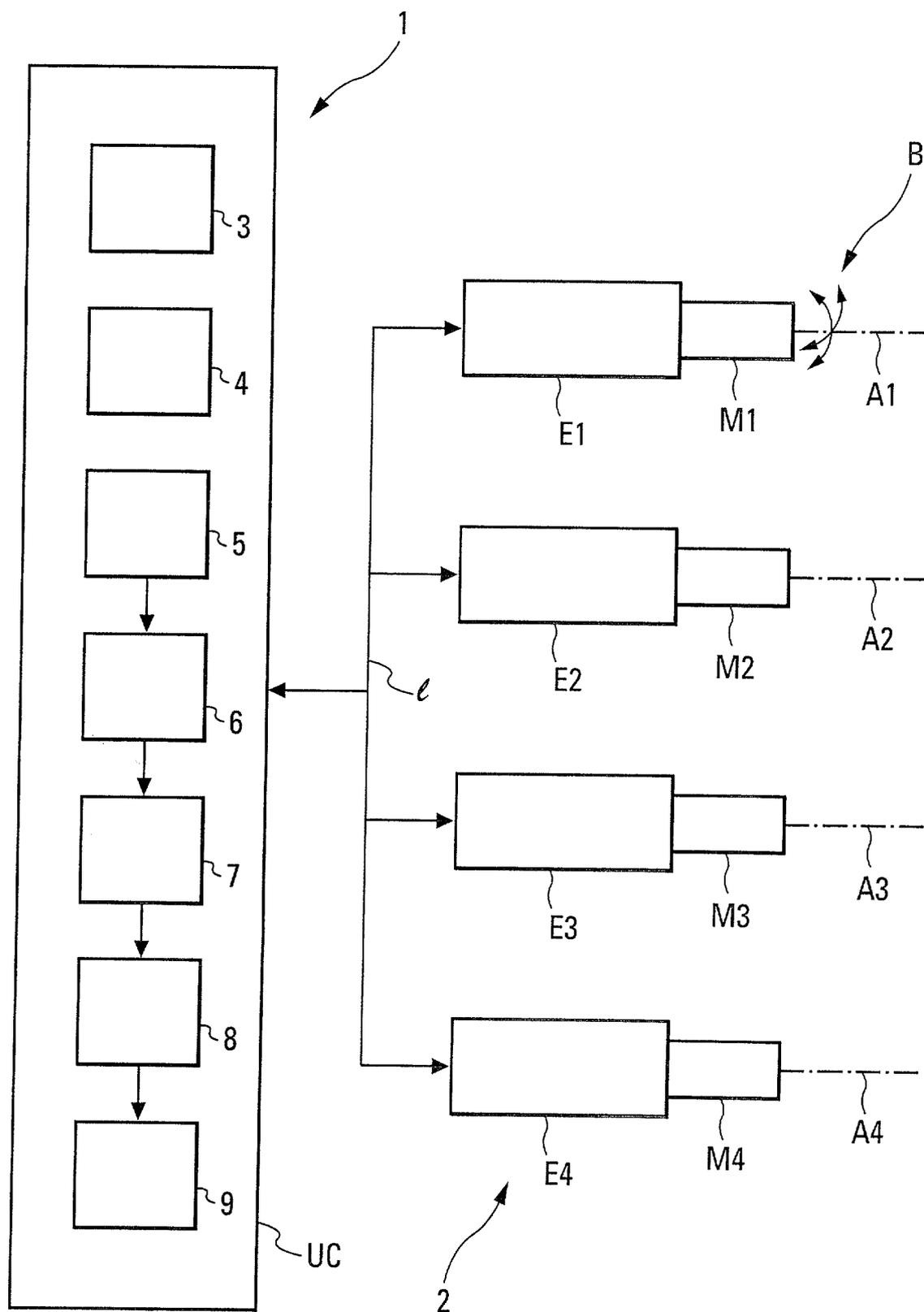


Fig. 1

2/4

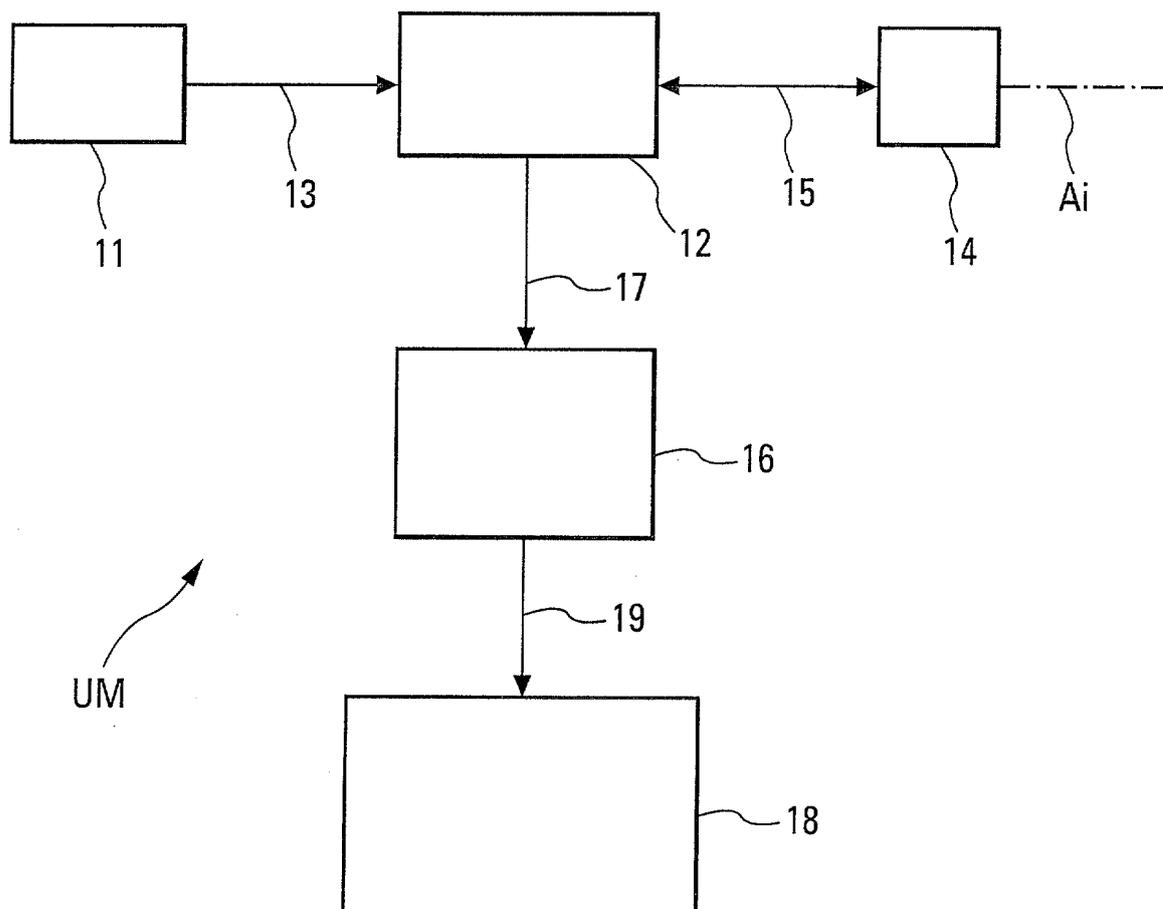


Fig. 2

3/4

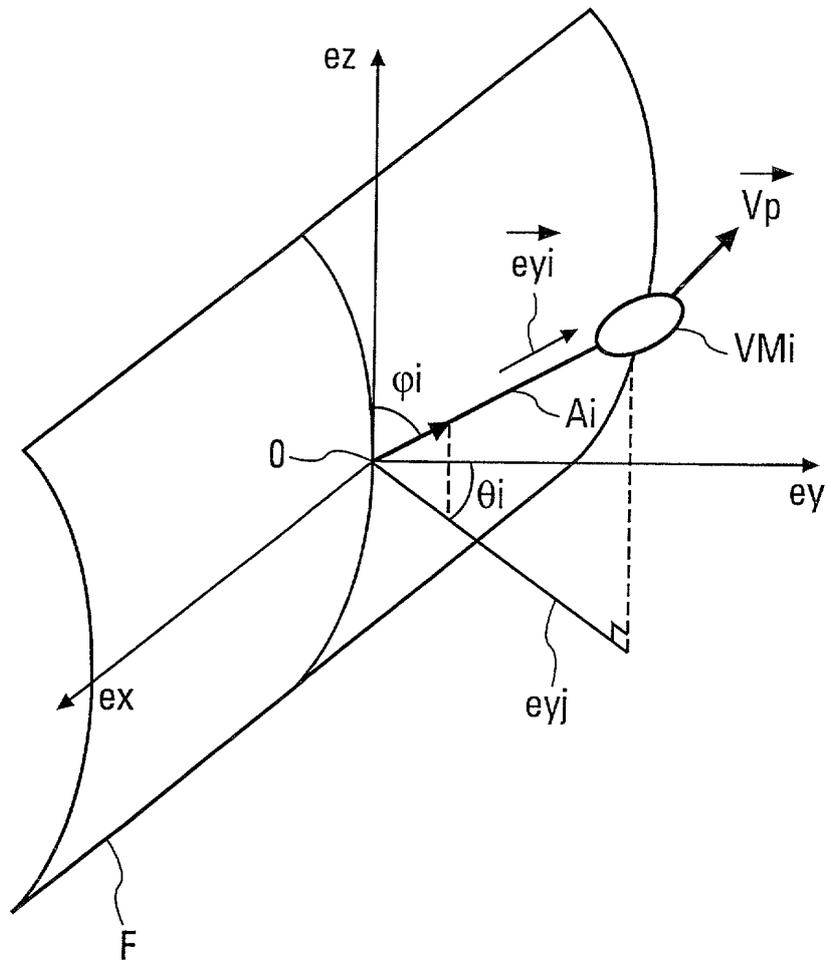


Fig. 3

4/4

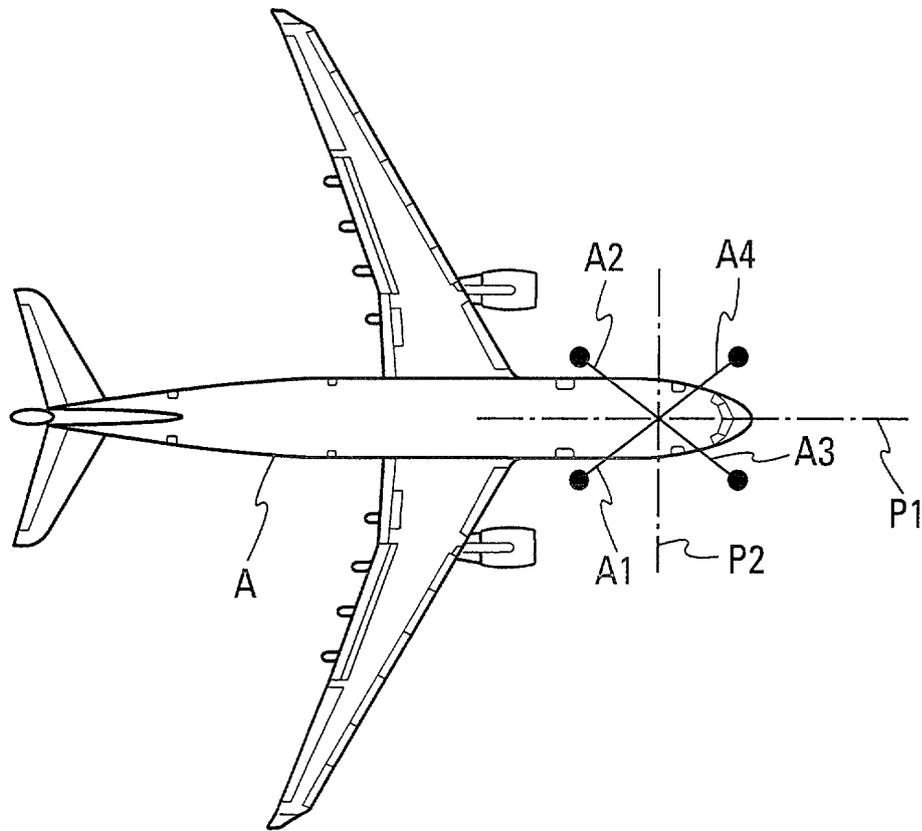


Fig. 4

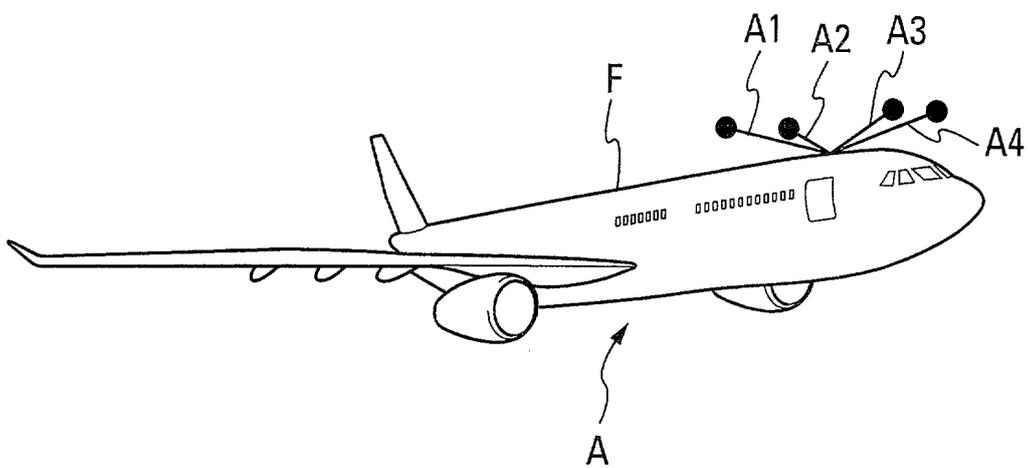


Fig. 5



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

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

FA 714830  
FR 0806588

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
Y	WO 02/50565 A (THALES SA [FR]; BRUEL CHRISTINE [FR]; COMBE HUBERT [FR]) 27 juin 2002 (2002-06-27) * page 10; revendications 1-3 *	1,7	G01P5/00 G01P21/00
Y	US 2003/219252 A1 (HAYS PAUL B [US]) 27 novembre 2003 (2003-11-27) * figures 4,5,7 *	1,7	
Y	US 4 652 122 A (ZINCONE ROBERT [US] ET AL) 24 mars 1987 (1987-03-24) * colonne 2, alinéa 4 - colonne 5, alinéa 2 *	1,7	
Y	EP 0 374 027 A (SEXTANT AVIONIQUE [FR]) 20 juin 1990 (1990-06-20) * colonne 7, dernier alinéa - colonne 9, alinéa 2; figures 6-9 *	1,7	
A	WO 2007/017641 A (QINETIQ LTD [GB]; HARRIS MICHAEL [GB]; WILLETTS DAVID VEDMORE [GB]) 15 février 2007 (2007-02-15) * page 16 *	4	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)  G01P
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
29 juin 2009		Felicetti, Christoph	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date	
autre document de la même catégorie		de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		.....	
		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0806588 FA 714830**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 29-06-2009

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 0250565	A	27-06-2002	DE 60120222 T2	24-05-2007
			EP 1346237 A1	24-09-2003
			FR 2818752 A1	28-06-2002
			US 2004036852 A1	26-02-2004
-----				
US 2003219252	A1	27-11-2003	US 2006262324 A1	23-11-2006
			US 2008180690 A1	31-07-2008
			US 2008180691 A1	31-07-2008
-----				
US 4652122	A	24-03-1987	DE 3620636 A1	02-01-1987
			FR 2584191 A1	02-01-1987
			GB 2176965 A	07-01-1987
			IT 1204863 B	10-03-1989
			JP 62003665 A	09-01-1987
-----				
EP 0374027	A	20-06-1990	DE 68902632 D1	01-10-1992
			DE 68902632 T2	01-04-1993
			ES 2035614 T3	16-04-1993
			FR 2640755 A1	22-06-1990
			US 5048951 A	17-09-1991
-----				
WO 2007017641	A	15-02-2007	AUCUN	
-----				