

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 27.05.99.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 01.12.00 Bulletin 00/48.

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) : ONERA (OFFICE NATIONAL D'ETU-
DES ET DE RECHERCHES AEROSPATIALES) Etablis-
sement public — FR.

72 Inventeur(s) : BARRICAU PHILIPPE, MIGNOSI
ANDRE, LEMPEREUR CHRISTINE et MATHE JEAN
MICHEL.

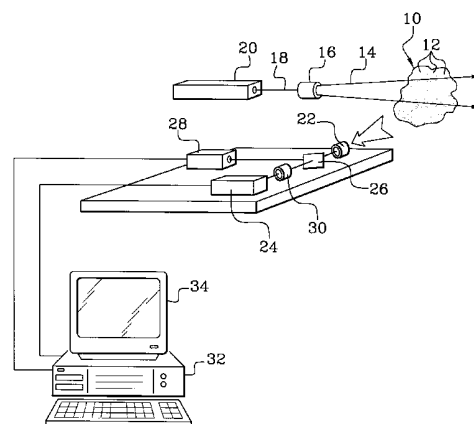
73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) : MARTINET ET LAPOUX.

54 PROCEDE ET DISPOSITIF DE MESURE DE VITESSE PAR EFFET DOPPLER.

57 Procédé et dispositif de la mesure d'au moins un objet
par effet Doppler, la lumière diffusée par un objet (12) éclai-
ré par une nappe laser (14) étant captée par des moyens
(22) de formation d'image et transmis à une caméra CCD
(24) par l'intermédiaire de moyens (30) de filtrage spectral
accordés sensiblement sur la fréquence de l'éclairage laser,
des moyens étant prévus pour générer des flux lumineux
monochromatiques de référence ayant des fréquences qui
diffèrent de la fréquence de l'éclairage laser par des écarts
de fréquence fixes et connus, ces flux lumineux de référé-
nce étant introduits dans les moyens optiques (22) de forma-
tion d'image pour être transmis à la caméra CCD (24).

L'invention s'applique à la mesure des vitesses dans les
écoulements de fluide et aux mesures des vitesses de corps
solides en mouvement.



**Procédé et dispositif de mesure de vitesse
par effet Doppler**

5 L'invention concerne un procédé et un dispositif
de mesure de vitesse par effet Doppler, notamment
pour la mesure d'un champ de vitesses dans un
écoulement de fluide, mais également pour la mesure
des vitesses de corps solides en mouvement tels que
10 des projectiles ou des engins balistiques.

Il est déjà connu de déterminer les composantes
de la vitesse d'un objet, éclairé par une nappe laser
issue d'un faisceau, à partir d'une part de
l'intensité de la lumière diffusée par cet objet et
15 reçue directement par des photorécepteurs appropriés
et d'autre part de l'intensité de cette lumière reçue
par d'autres photorécepteurs appropriés à travers des
moyens de filtrage spectral accordés sur la fréquence
de la nappe laser d'éclairage (voir notamment les
20 documents EP-0506657 et AIAA 97-0498, 35th Aerospace
Sciences Meeting and Exhibit, Reno, NV, January 6-10,
1997, "Planar Doppler Velocimetry performance in low-
speed flows" de R. L. McKenzie). Typiquement, la
nappe laser d'éclairage est émise par un générateur
25 laser à argon ou du type Nd-YAG associé à un doubleur
de fréquence et fonctionnant par impulsions, les
moyens de filtrage spectral comprennent une cuve à
vapeur d'iode qui présente une raie d'absorption au
voisinage de la fréquence laser d'éclairage et dont
30 la transmission est d'environ 50% à cette fréquence,
et les photorécepteurs sont du type matrice de CCD.

La fonction des moyens de filtrage spectral est
de convertir les variations de fréquence, dues à
l'effet Doppler, de la lumière diffusée par l'objet
35 en variations d'intensité de la lumière captée par

les photorécepteurs. Ainsi l'intensité de la lumière captée à travers les moyens de filtrage spectral varie en fonction de la vitesse du déplacement de l'objet. On effectue le rapport de l'intensité captée à travers les moyens de filtrage spectral et de l'intensité captée directement pour obtenir un signal normalisé qui varie en fonction du décalage Doppler et dont la connaissance permet de calculer la vitesse de l'objet selon une direction de l'espace.

Par ailleurs, une fraction du faisceau laser est prélevée et envoyée sur des photorécepteurs de la matrice de CCD, d'une part directement et d'autre part à travers les moyens de filtrage spectral, pour obtenir un signal normalisé (le rapport précité des intensités lumineuses reçues directement et à travers les moyens de filtrage spectral) qui correspond à une vitesse nulle et qui permet de compenser en permanence les variations de la fréquence laser dans le temps.

Ainsi, moyennant un étalonnage préalable de la fonction de transmission spectrale des moyens de filtrage précités, on détermine l'écart de fréquence dû à l'effet Doppler à partir du signal normalisé de la lumière diffusée par un objet en mouvement et du signal normalisé de vitesse nulle, et on calcule ensuite la vitesse de cet objet selon une direction de l'espace. Cette direction est définie par la direction de l'éclairage laser et par la direction d'observation. En effectuant les observations selon trois directions différentes, on obtient les trois composantes des vecteurs vitesse des objets en mouvement dans le champ d'observation.

Toutefois, cette technique connue ne prend pas en compte les dérives de conversion des moyens de filtrage spectral en temps réel, notamment en

fonction de la température, de sorte que la précision sur la mesure de vitesse s'avère insuffisante.

La présente invention a notamment pour but d'apporter une solution simple, efficace et peu
5 coûteuse à ce problème.

Elle propose à cet effet un procédé de mesure de la vitesse d'au moins un objet par effet Doppler, comprenant :

- l'éclairage de l'objet par une nappe laser,
10 issue d'un faisceau laser,

- la mesure de l'intensité de la lumière diffusée par l'objet, la mesure étant effectuée d'une part directement et d'autre part à travers des moyens de filtrage spectral accordés sensiblement sur la
15 fréquence laser d'éclairage,

- la détermination d'un rapport desdites mesures pour l'obtention d'un signal normalisé de la lumière diffusée,

- la mesure de l'intensité d'une fraction du faisceau laser, d'une part directement et d'autre
20 part à travers les moyens de filtrage spectral et la détermination d'un rapport de ces mesures pour l'obtention d'un signal normalisé correspondant à une vitesse nulle, et

25 - la détermination, à partir des signaux normalisés, d'une composante de la vitesse de l'objet dans une direction déterminée,

caractérisé en ce qu'il comprend également :

- la mesure de l'intensité d'un flux lumineux
30 monochromatique de référence, d'une part directement et d'autre part à travers les moyens de filtrage spectral, ce flux de référence ayant une fréquence différant de celle du faisceau laser d'une valeur fixe connue,

- et la détermination d'un rapport des mesures d'intensité du flux de référence pour l'obtention d'un signal de référence normalisé correspondant à un écart de fréquence fixe et connu, donc à une vitesse non nulle et connue.

Ce signal de référence normalisé qui correspond à un écart de fréquence fixe connu, sert à recaler en temps réel la courbe de transmission des moyens de filtrage spectral, en compensant les dérives éventuelles de ces moyens.

L'écart de fréquence est avantageusement choisi pour couvrir une partie sensiblement linéaire de la courbe de transmission à partir du point correspondant à une vitesse nulle. Il devient alors possible de déterminer avec précision, par interpolation, la valeur du décalage Doppler qui correspond à un signal normalisé de la lumière diffusée par l'objet quand ce signal est compris entre le signal normalisé de vitesse nulle et le signal normalisé du flux de référence.

Avantageusement, ce procédé comprend la mesure des intensités, d'une part directement et d'autre part à travers les moyens de filtrage spectral, de plusieurs flux lumineux monochromatiques de référence dont les fréquences diffèrent de celles de l'éclairage laser de valeur fixes et connues différentes les unes des autres, et la détermination, pour chaque flux de référence, du rapport de ses mesures d'intensité pour l'obtention de signaux de référence normalisés correspondant à différents écarts de fréquence fixes et connus.

Ces différents écarts de fréquence sont avantageusement échelonnés sur une plus grande partie de la courbe de transmission des moyens de filtrage spectral, en particulier sur des zones non linéaires

de cette courbe. Cela a par exemple pour effet de doubler la dynamique en fréquence, ce qui se traduit par une augmentation correspondante de la dynamique des vitesses mesurables.

5 Selon une autre caractéristique de ce procédé, le ou chaque flux de référence précité est émis dans un plan image intermédiaire des moyens optiques de formation d'une image de l'objet sur un ensemble de photodétecteurs. On évite ainsi de perturber le champ
10 de vitesses à mesurer.

Avantageusement, le ou chaque flux de référence est émis par une source sensiblement ponctuelle.

On n'utilise ainsi qu'une très faible partie de l'image de ce champ pour l'acquisition des intensités
15 des flux de référence.

L'invention propose également un dispositif de mesure de la vitesse d'au moins un objet par effet Doppler, comprenant

- des moyens d'éclairage de l'objet par une
20 nappe issue d'un faisceau laser,

- des moyens optiques de formation d'une image de l'objet sur deux ensembles de photorécepteurs dont les signaux de sortie correspondent à l'intensité lumineuse reçue,

25 - des moyens de filtrage spectral accordés sensiblement sur la fréquence du faisceau laser et interposés entre lesdits moyens optiques et un ensemble de photorécepteurs,

30 - des moyens pour diriger directement et simultanément une fraction du faisceau laser sur une première partie de chacun des deux ensembles de photorécepteurs à travers les moyens optiques de formation d'image, pour l'obtention de signaux normalisés de la lumière diffusée par l'objet et de

signaux normalisés correspondant à une vitesse nulle, caractérisé en qu'il comprend également

- des moyens générant au moins un flux lumineux monochromatique de référence ayant une fréquence
5 différant de celle du faisceau laser d'une valeur fixe connue, et

- des moyens pour diriger directement et simultanément ce flux de référence sur une deuxième partie de chacun des deux ensembles de
10 photorécepteurs à travers les moyens optiques de formation d'image, pour obtenir un signal de référence normalisé correspondant à un écart de fréquence fixe et connu.

Avantageusement, le dispositif selon l'invention
15 comprend des moyens générant plusieurs flux lumineux monochromatiques de référence ayant des fréquences différant de celle du faisceau laser par des valeurs fixes et connues différentes les unes des autres, ces flux de référence étant dirigés directement et
20 simultanément sur des parties distinctes de chacun des deux ensembles de photorécepteurs à travers les moyens optiques de formation d'image, pour l'obtention de signaux de référence normalisés correspondant à des écarts de fréquence fixes et
25 connus.

Dans un mode de réalisation préféré de l'invention, les moyens de génération du ou des flux de référence précités sont des moyens acousto-optiques tels en particulier qu'un dispositif de
30 BRAGG.

Ces moyens produisent des flux de référence ayant des fréquences qui diffèrent de celle de l'éclairage laser par des valeurs égales à plus ou moins $n\Delta F$, ΔF étant un écart de fréquence fixe et
35 connu, n étant un nombre entier supérieur à 0.

Ces écarts de fréquence sont avantageusement échelonnés de façon régulière sur la partie utile de la courbe de transmission spectrale des moyens de filtrage précités.

5 Selon d'autres caractéristiques de l'invention :

- les moyens de génération des flux lumineux de référence sont reliés par des fibres optiques aux moyens de formation d'image,

10 - les fibres optiques ont des extrémités situées sensiblement dans un plan image intermédiaire des moyens de formation d'image et orientées vers les photodétecteurs précités.

15 De façon générale, l'invention améliore la précision de la mesure de la vitesse d'un objet par effet Doppler et est applicable à la mesure d'un champ de vitesses en mécanique des fluides, ainsi qu'à des fins balistiques pour la mesure des vitesses de corps en mouvement, tels que des projectiles par exemple.

20 L'invention sera mieux comprise et d'autres caractéristiques, détails et avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement à la lecture de la description qui suit, faite à titre d'exemple en référence aux dessins annexés dans lesquels :

25 - la figure 1 est une vue schématique en perspective d'un dispositif de l'art antérieur ;

30 - la figure 2 est un schéma représentant la direction de la composante de vitesse déterminée en fonction de la direction d'éclairage et de la direction d'observation ;

- la figure 3 est une vue schématique de dessus représentant les composants essentiels du dispositif selon l'invention ;

35 - la figure 4 est un graphe représentant une partie de la courbe de transmission spectrale des

moyens de filtrage utilisés dans le dispositif selon l'invention ;

- la figure 5 représente schématiquement des moyens de génération des flux de référence mis en oeuvre dans un dispositif selon l'invention.

L'exemple de réalisation représenté aux figures 1 et 2, est appliqué à la détermination d'un champ de vitesses dans un écoulement de fluide 10, par mesure des décalages Doppler de la lumière diffusée par des particules 12 qui ont été injectées dans l'écoulement de fluide. Par exemple, et comme décrit dans les documents antérieurs précités, un écoulement de gaz peut êtreensemencé avec un brouillard de très fines particules d'un liquide ou d'un solide approprié, qui sont dispersées dans l'écoulement de gaz et entraînées par celui-ci.

L'écoulement 10 est éclairé par une nappe laser 14 produite par des moyens appropriés 16 tels qu'une optique d'ouverture de faisceau (un ensemble de lentilles cylindriques et sphériques) ou un dispositif à polygone tournant, à partir du faisceau 18 émis par une source laser appropriée, telle qu'un laser à argon en fonctionnement mono-mode longitudinal, émettant à une longueur d'onde de 514,5nm, ou un laser YAG doublé à 532nm.

L'éclairage laser est diffusé par les particules 12 présentes dans l'écoulement 10. Des moyens de détection de la lumière diffusée par les particules 12 comprennent un système optique 22 de formation d'une image sur un ensemble de photodétecteurs tels qu'une caméra CCD 24 par exemple, le flux lumineux transmis par le système optique 22 passant par un séparateur de faisceau 26 qui dirige une fraction de ce flux vers un autre ensemble de photodétecteurs tels qu'une autre caméra CCD 28 par exemple, le flux

lumineux transmis par le séparateur de faisceau 26 traversant des moyens de filtrage spectral 30 accordés sur la fréquence du faisceau laser 18, avant de parvenir jusqu'à la caméra CCD 24.

5 Par exemple, les moyens de filtrage 30 sont constitués d'une cuve à vapeur d'iode qui présente une raie d'absorption au voisinage de la fréquence du faisceau laser 18, la transmission étant par exemple d'environ 50% à cette fréquence.

10 Les caméras CCD 24 et 28 sont reliées en sortie à des moyens 32 de traitement de l'information, comprenant des moyens d'acquisition et de calcul et des moyens de visualisation 34 sur lesquels on peut afficher des images du champ observé, dans lesquelles
15 les composantes des vitesses des particules dans une direction déterminée sont représentées par différentes nuances de gris ou par différentes couleurs.

En figure 2, $\vec{V}$ est le vecteur vitesse d'une
20 particule 12 éclairée par un rayon laser incident 36 dont la direction de propagation est représentée par le vecteur unitaire $\vec{E}$ et $\vec{R}$ est le rayon unitaire de la direction d'observation ou direction reliant la particule 12 au centre de perspective de la prise de
25 vue.

Le décalage Doppler de la lumière diffusée par la particule 12 par rapport à l'éclairage laser est donné par la formule :

30
$$\Delta f = \frac{F_0}{c} \vec{V} \cdot (\vec{R} - \vec{E})$$

où F_0 est la fréquence de l'éclairage laser et c est la vitesse de la lumière dans le vide.

En figure 2, le vecteur $\vec{R} - \vec{E}$ représente la direction dans laquelle est mesurée la composante de

la vitesse V de la particule par le dispositif de la figure 1.

La lumière diffusée par les particules 12 est captée par le système optique 22 et transmise pour partie à la première caméra CCD 24 après traversée des moyens de filtrage spectral 30 et pour partie à l'autre caméra CCD 28, éventuellement au moyen d'un miroir de renvoi 38 (figure 3). Les signaux de sortie des caméras 24 et 28 permettent de comparer, pixel à pixel, l'intensité de la lumière diffusée reçue directement par la caméra 28 à celle de la lumière diffusée reçue par la caméra 24 après traversée des moyens de filtrage spectral 30.

Comme on le voit sur la courbe de transmission spectrale C de la figure 4, ces moyens 30 sont accordés sur une fréquence voisine de la fréquence F_0 du faisceau laser 18, la transmission étant d'environ 50% à la fréquence F_0 . En fonction de la direction de déplacement des particules 12 par rapport au dispositif de mesure, la fréquence de la lumière diffusée par les particules peut être supérieure ou inférieure à la fréquence F_0 et sa transmission par les moyens 30 sera supérieure ou inférieure respectivement à ce qu'elle serait pour la fréquence F_0 .

On se réfère maintenant à la figure 3.

Pour que les fluctuations de la fréquence F_0 du faisceau laser 18 et les dérives, notamment thermiques, des moyens de filtrage 30 puissent être prises en compte et compensées automatiquement, l'invention prévoit des moyens 40 pour générer des flux monochromatiques de référence qui sont injectés dans le flux lumineux transmis par le système optique 22 et captés ensuite par les photodétecteurs des caméras CCD 24 et 28.

Les moyens 40 sont avantageusement du type acousto-optique et comprennent un cristal dans lequel un réseau de phase est induit par la propagation d'une onde acoustique générée par un cristal piézo-
5 électrique aux bornes duquel est appliquée une tension sinusoïdale de fréquence ΔF . Quand une onde lumineuse de fréquence F_0 (une fraction du faisceau laser 18) se propage au sein de ce cristal, on obtient en sortie un faisceau à la fréquence F_0 ainsi
10 qu'un faisceau à la fréquence $F_0 + \Delta F$ (fonctionnement de type BRAGG). Ces deux faisceaux peuvent être transmis par des fibres optiques 42 en deux points d'un plan image intermédiaire du système optique 22, les extrémités des fibres optiques 42 étant orientées
15 dans ce plan en direction du cube séparateur 26. Ainsi, les signaux de sortie des caméras 24 et 28 fournissent des mesures des intensités des flux lumineux aux fréquences F_0 et $F_0 + \Delta F$ captés après traversée des moyens de filtrage 30 par la caméra 24
20 et captés directement par la caméra 28.

On dispose ainsi, sur la courbe de transmission spectrale de la figure 4, de deux points correspondant aux fréquences F_0 et $F_0 + \Delta F$, et cela
25 quelles que soient les fluctuations de la fréquence F_0 du faisceau laser 18, la valeur ΔF étant quant à elle fixe et connue.

On utilise les mesures d'intensité fournies par la caméra CCD 28 pour obtenir des signaux normalisés I_n qui sont égaux aux rapports (pixel à pixel) des
30 intensités mesurées par la caméra 24 et des intensités mesurées par la caméra 28. De préférence et comme représenté schématiquement en figure 5, les moyens 40 de génération de flux lumineux de référence vont fonctionner en mode RAMAN-NATH pour fournir en

sortie des faisceaux lumineux ayant les fréquences F_0 , $F_0 + \Delta F$, $F_0 - \Delta F$, $F_0 + 2\Delta F$ et $F_0 - 2\Delta F$.

Ces faisceaux sont transmis par des fibres optiques et par un ensemble de connecteurs 44 à trois
5 petits boîtiers 46 associés chacun à un dispositif de détection tel que celui représenté à la figure 3, pour la mesure des composantes des vitesses des particules 12 dans trois directions différentes, une seule source laser 20 de direction fixe étant alors
10 utilisée.

Dans chaque boîtier 46, les extrémités des fibres optiques sont orientées vers les photorécepteurs et transmettent cinq flux lumineux de référence ayant les fréquences indiquées ci-dessus.

15 Cela permet d'utiliser une plus grande partie de la courbe de transmission spectrale des moyens 30, comprenant des parties non linéaires, en compensant automatiquement et en permanence les fluctuations de la fréquence laser d'éclairage et les dérives dans le
20 temps des moyens 30 de filtrage spectral.

L'écart de fréquence ΔF précité peut être de 200MHz, ce qui permet alors de travailler sur une dynamique de fréquence de 1GHz autour de la fréquence laser F_0 . La dynamique en vitesse mesurée dépend des
25 conditions géométriques de visée. Dans le cas d'une configuration standard que l'on rencontre en soufflerie, on obtient une dynamique de vitesses qui passe par exemple de 350m/s (si on se limite à la partie linéaire de la courbe de transmission
30 spectrale des moyens 30) à 700m/s, soit le double.

Typiquement, les moyens 30 de filtrage spectral sont constitués par une cuve à vapeur d'iode. Si la variation de température du doigt de cette cuve est de 0,5°C, cela entraîne une variation fréquentielle
35 d'environ 5MHz. Les fluctuations fréquentielles de la

source laser 20 peuvent être de l'ordre de 2MHz. Elles génèrent une incertitude d'environ 5m/s sur les vitesses mesurées (en configuration standard). L'invention permet de faire tendre cette incertitude
5 vers zéro, en compensant automatiquement les dérives thermiques de la cuve à vapeur d'iode et les fluctuations fréquentielles de la source laser.

Les moyens 40 du type acousto-optique peuvent générer des décalages fréquentiels avec une précision
10 relative de l'ordre de 10^{-6} , c'est-à-dire avec une incertitude de 200Hz pour un écart de fréquence ΔF de 200MHz. L'erreur de mesure est alors liée à l'incertitude de la technique d'interpolation utilisée pour obtenir en temps réel la courbe
15 d'étalonnage de la fonction de transmission spectrale de la cuve à vapeur d'iode ainsi qu'à l'incertitude liée à la mesure radiométrique des caméras 24 et 28, qui est estimée à 0,15% dans le cas de caméras à 10 bits vrais.

REVENDICATIONS

1 - Procédé de mesure de la vitesse d'au moins un objet par effet Doppler, comprenant :

- 5 - l'éclairage de l'objet (12) par une nappe laser (14), issue d'un faisceau laser,
- la mesure de l'intensité de la lumière diffusée par l'objet (12), cette mesure étant effectuée d'une part directement et d'autre part à
- 10 travers des moyens (30) de filtrage spectral accordés sensiblement sur la fréquence F_0 de l'éclairage laser,
- l'obtention d'un signal normalisé I_n , égal au rapport des mesures de l'intensité à travers les
- 15 moyens de filtrage spectral et de l'intensité mesurée directement,
- la mesure de l'intensité d'une fraction du faisceau laser, d'une part à travers les moyens de filtrage spectral (30) et d'autre part directement et
- 20 la détermination du rapport de ces mesures d'intensités pour l'obtention d'un signal normalisé correspondant à une vitesse nulle, et
- la détermination à partir des signaux normalisés précités, d'une composante de la vitesse
- 25 de l'objet (12) dans une direction déterminée, caractérisé en ce qu'il comprend également :
- la mesure de l'intensité d'au moins un flux lumineux monochromatique de référence, cette intensité étant mesurée d'une part directement et
- 30 d'autre part à travers les moyens de filtrage spectral (30), ce flux de référence ayant une fréquence différant de celle F_0 du faisceau laser d'une valeur fixe connue ΔF ,
- et la détermination du rapport des mesures
- 35 d'intensités du flux de référence pour l'obtention

d'un signal de référence normalisé correspondant à un écart de fréquence ΔF fixe et connu.

2 - Procédé selon la revendication 1,
5 caractérisé en ce qu'il comprend la mesure des intensités, directement et à travers les moyens de filtrage spectral, de plusieurs flux lumineux monochromatiques de référence dont les fréquences
10 diffèrent de celle F_0 du faisceau laser de valeurs fixes et connues différentes les unes des autres et la détermination, pour chaque flux de référence, du rapport desdites mesures d'intensités pour
l'obtention de signaux de référence normalisés correspondant à différents écarts de fréquence fixes
15 et connus.

3 - Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le ou chaque flux de référence est généré à partir du faisceau laser par décalage de
20 la fréquence de ce faisceau.

4 - Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le ou chaque flux de référence est émis dans un plan image intermédiaire
25 de moyens optiques (22) de formation d'une image de l'objet (12) sur chaque ensemble de photodétecteurs (24, 28).

5 - Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le ou chaque flux de référence est émis par une source sensiblement
30 ponctuelle.

6 - Dispositif de mesure de la vitesse d'au
35 moins un objet par effet Doppler, comprenant :

- des moyens (20, 16) d'éclairage de l'objet par une nappe laser (14) issue d'un faisceau laser,
- des moyens optiques (22) de formation d'une image de l'objet (12) sur deux ensembles de photorécepteurs (24, 28) dont les signaux de sortie correspondent à l'intensité lumineuse reçue,
- des moyens de filtrage spectral (30) accordés sensiblement sur la fréquence F_0 du faisceau laser et interposés entre lesdits moyens optiques (22) et un ensemble (24) de photorécepteurs précités,
- des moyens (40, 42) pour diriger directement et simultanément une fraction du faisceau laser sur une première partie de chacun des deux ensembles de photorécepteurs précités à travers les moyens optiques (22) de formation d'image,
- et des moyens (32) de détermination du rapport des mesures d'intensités de la lumière diffusée par l'objet (12) et du rapport des mesures d'intensités de ladite fraction de l'éclairage laser, pour l'obtention de signaux normalisés, caractérisé en ce qu'il comprend également :
 - des moyens (40) générant au moins un flux lumineux monochromatique de référence ayant une fréquence différant de celle F_0 du faisceau laser d'une valeur fixe connue ΔF ,
 - et des moyens (42) introduisant ce flux de référence dans les moyens optiques précités (22) de formation d'image et le dirigeant sur une deuxième partie de chacun des deux ensembles de photorécepteurs précités, d'une part directement et d'autre part à travers les moyens de filtrage spectral (30), pour l'obtention d'un signal de référence normalisé correspondant à un écart de fréquence ΔF fixe et connu.

7 - Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens (40) générant plusieurs flux lumineux monochromatiques de référence dont les fréquences diffèrent de celle du faisceau laser par des valeurs fixes et connues différentes les unes des autres, et des moyens (46) pour diriger ces flux de référence sur des parties distinctes de chacun des deux ensembles de photodétecteurs précités.

10

8 - Dispositif selon la revendication 6 ou 7, caractérisé en ce que les moyens (40) de génération du ou des flux de référence sont des moyens acousto-optiques tels qu'un dispositif de BRAGG.

15

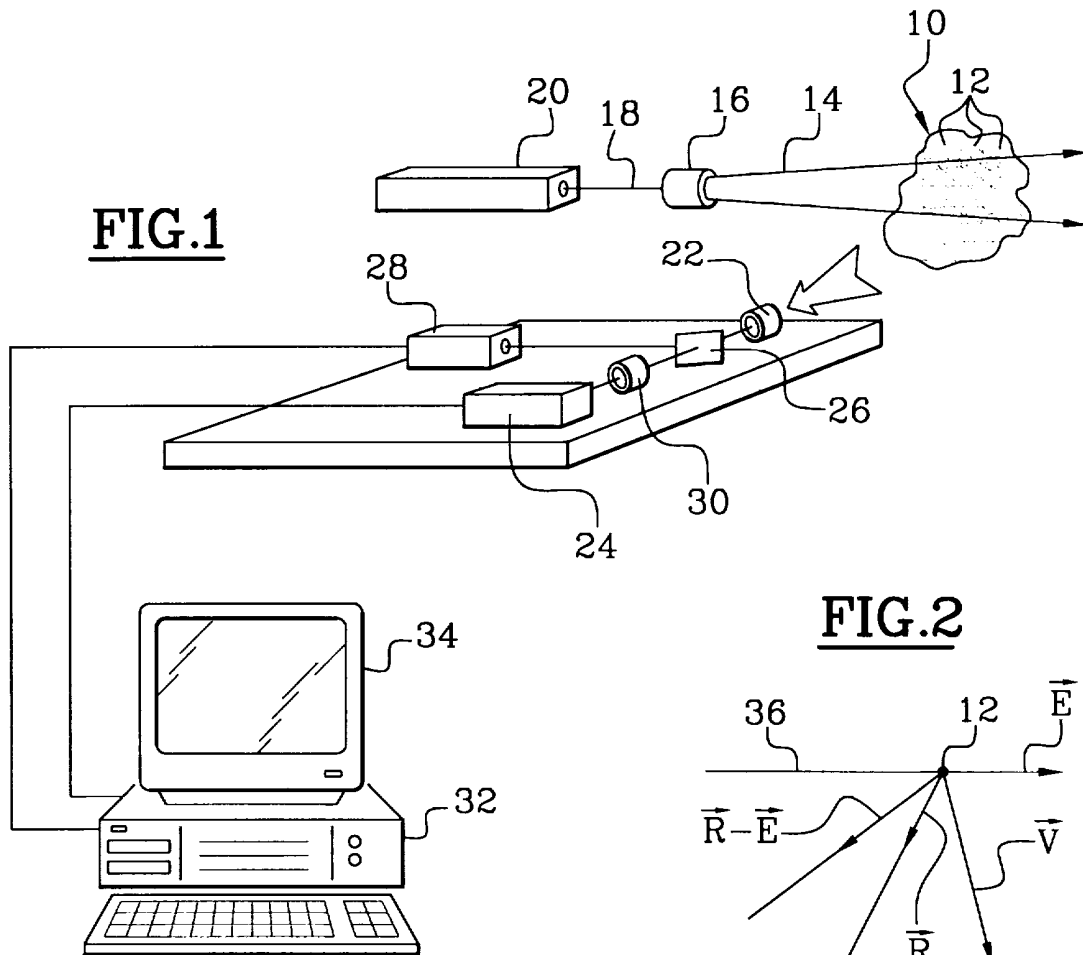
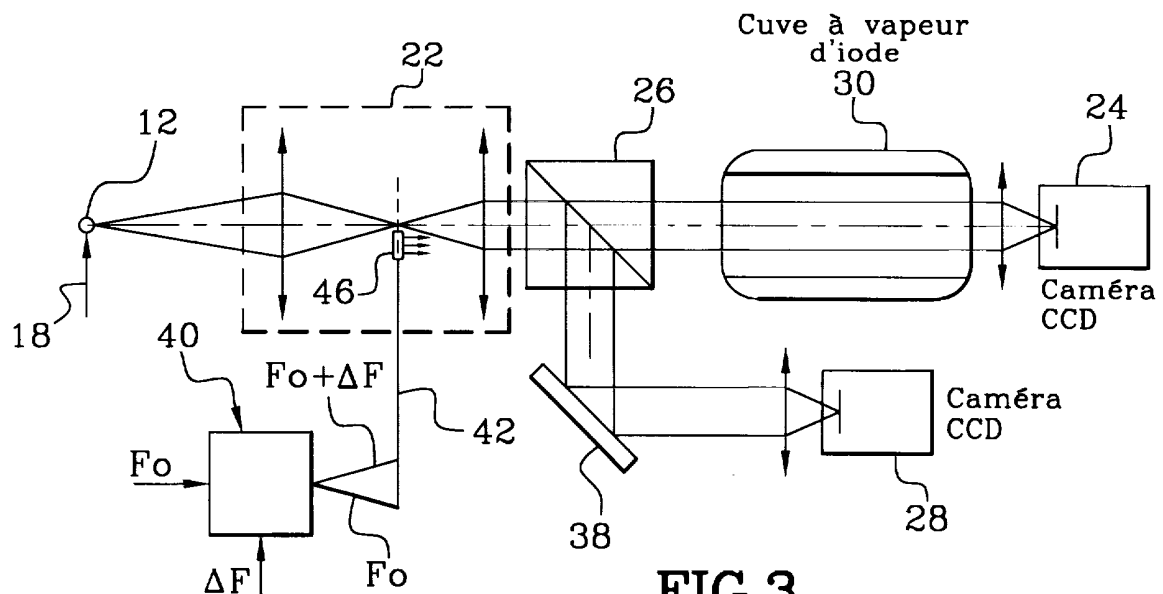
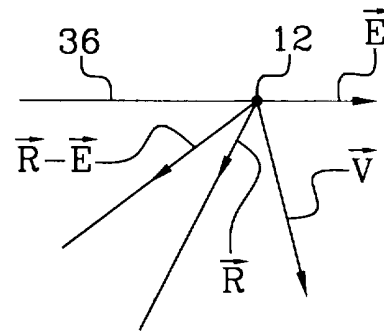
9 - Dispositif selon la revendication 7 ou 8, caractérisé en ce que les moyens (40) générant les flux de référence précités produisent des flux de référence dont les fréquences sont respectivement $F_0 + n\Delta F$ et $F_0 - n\Delta F$, F_0 étant la fréquence de l'éclairage laser, ΔF étant un écart de fréquence fixe et connu, n étant un nombre entier supérieur à 0 et prenant les valeurs 1, 2,

25

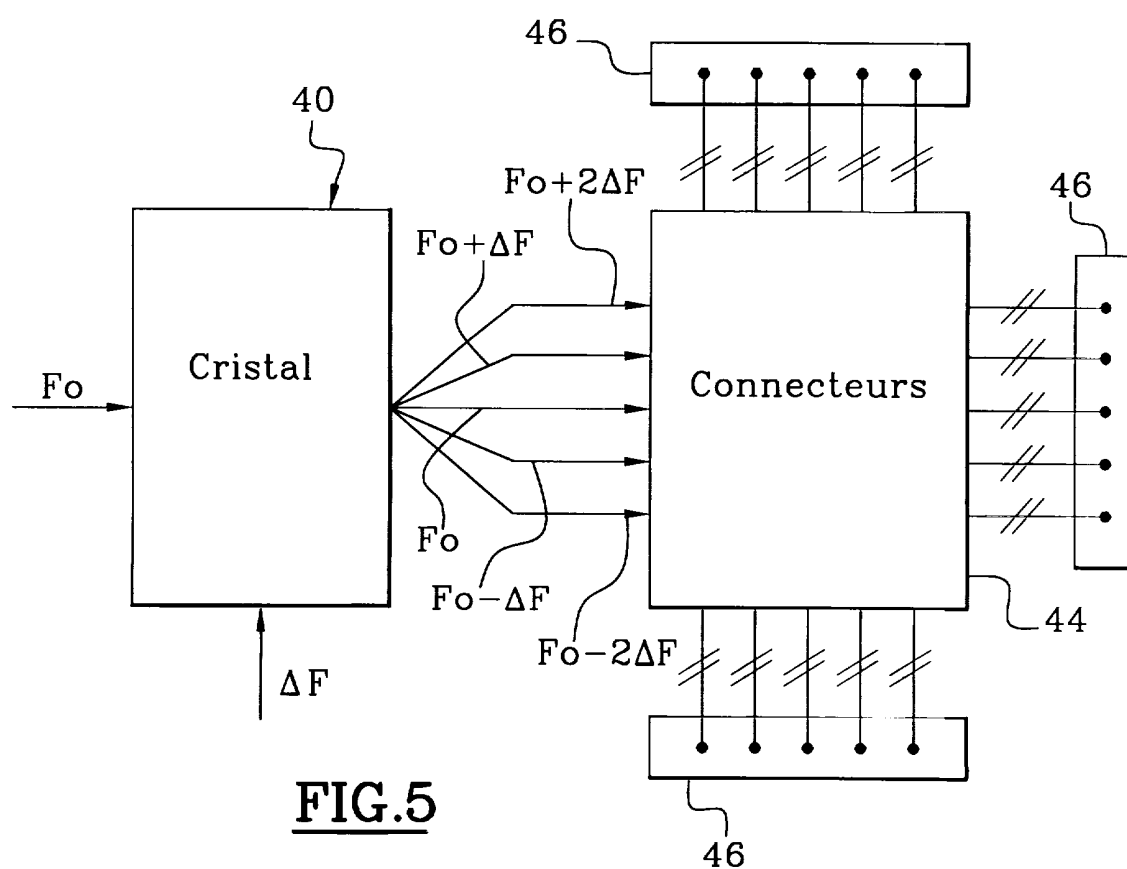
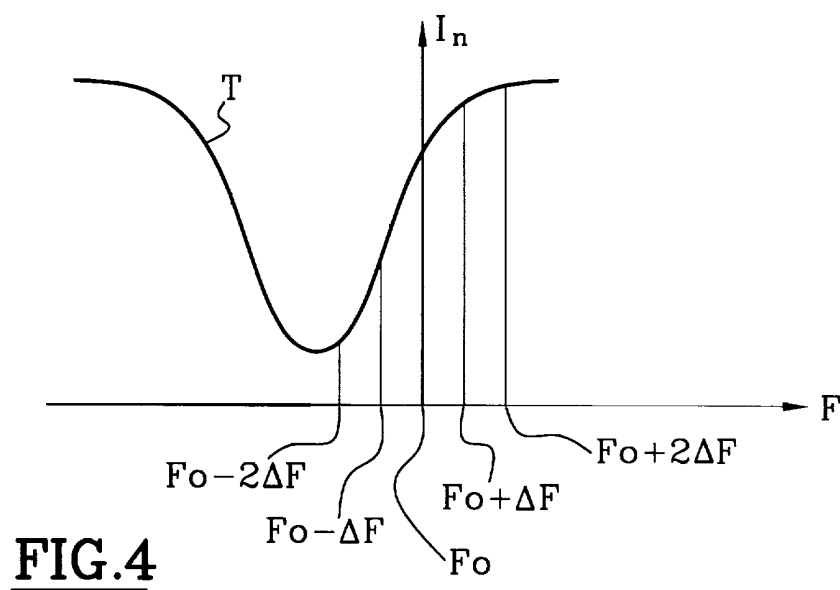
10 - Dispositif selon l'une des revendications 6 à 9, caractérisé en ce que les moyens (40) de génération des flux de référence sont reliés par des fibres optiques (42) aux moyens (22) de formation d'image, chaque fibre optique ayant une extrémité située sensiblement dans un plan image intermédiaire des moyens (22) de formation d'image et orientée vers les photodétecteurs précités.

30

1/2

FIG.1**FIG.2****FIG.3**

2/2



INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE
PRELIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 576363
FR 9906822

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	WO 95 33999 A (ISIS INNOVATION ; AINSWORTH ROGER WILLIAM (GB); THORPE STEVEN JOHN) 14 décembre 1995 (1995-12-14) * page 1, ligne 1 - page 9, ligne 12 * * page 18, ligne 34 - page 19, ligne 18 * * page 20, ligne 28 - page 22, ligne 6 * * figures 1,3,7 *	1,6
A	US 4 988 190 A (MILES RICHARD B) 29 janvier 1991 (1991-01-29) * abrégé *	1,6
A,D	MCKENZIE, ROBERT L.: "Planar Doppler Velocimetry Performance in Low-Speed Flows" AIAA 97-0498, 35TH AEROSPACE SCIENCES MEETING AND EXHIBIT, 6 - 10 janvier 1997, XP000879333 Reno, NV * le document en entier *	1,6
A,D	EP 0 506 657 A (NORTHROP CORP) 7 octobre 1992 (1992-10-07)	
A	& US 4 919 536 A (KOMINE HIROSHI) 24 avril 1990 (1990-04-24) * le document en entier *	1,6
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.7)
		G01S G01P
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
25 février 2000		Roost, J
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou antérie-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant		