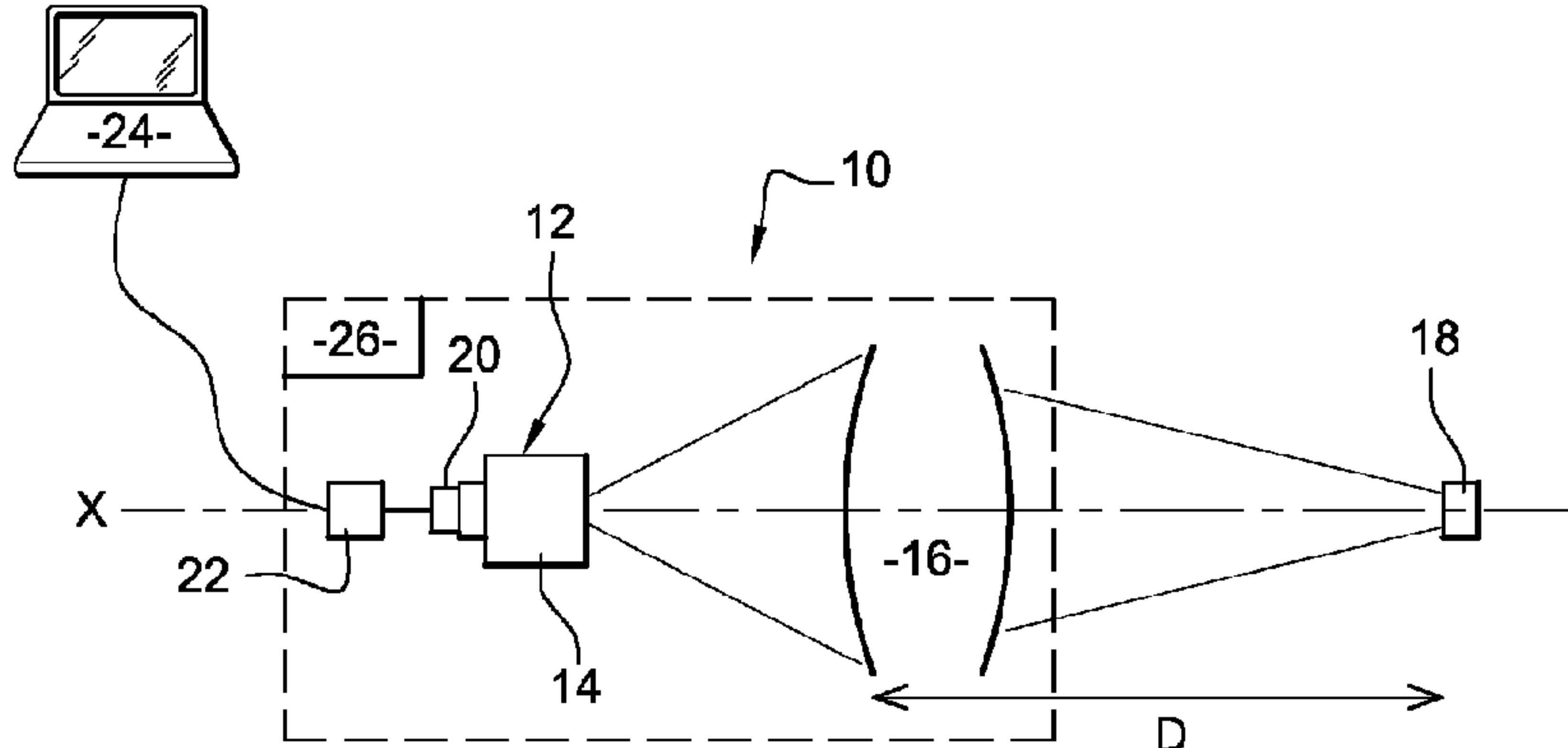




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2010/10/11
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2011/04/14
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2018/05/29
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2012/04/05
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2010/052149
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2011/042678
(30) Priorité/Priority: 2009/10/09 (FR0957080)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *G01P 5/26* (2006.01),
G01S 17/58 (2006.01)
(72) Inventeurs/Inventors:
LEPAYSAN, CHRISTOPHE, FR;
TEYSSEYRE, RAPHAEL, FR
(73) Propriétaire/Owner:
EPSILINE, FR
(74) Agent: FASKEN MARTINEAU DUMOULIN LLP

(54) Titre : DISPOSITIF DE MESURE DE LA VITESSE DU VENT
(54) Title: DEVICE FOR MEASURING WIND SPEED



(57) Abrégé/Abstract:

Le dispositif comporte des moyens d'émission d'un faisceau laser, appelé faisceau émis, des moyens de focalisation du faisceau émis, à une distance de focalisation prédéterminée, des moyens de réception du faisceau émis après réflexion par une particule présente dans l'air, appelé faisceau réfléchi, des moyens de transmission du signal d'interférences intervenant entre le faisceau émis et le faisceau réfléchi à des moyens de traitement du signal pour en déduire la vitesse de la particule. Les moyens d'émission comprennent une diode laser et les moyens de réception sont associés à la diode laser par rétro-injection intra-cavité. La distance de focalisation est comprise entre cm et 2 m.

ABRÉGÉ

Le dispositif comporte des moyens d'émission d'un faisceau laser, appelé faisceau émis, des moyens de focalisation du faisceau émis, à une distance de focalisation pré-déterminée, des moyens de réception du faisceau émis après réflexion par une particule présente dans l'air, appelé faisceau réfléchi, des moyens de transmission du signal d'interférences intervenant entre le faisceau émis et le faisceau réfléchi à des moyens de traitement du signal pour en déduire la vitesse de la particule. Les moyens d'émission comprennent une diode laser et les moyens de réception sont associés à la diode laser par rétro-injection intra-cavité. La distance de focalisation est comprise entre 5 cm et 2 m.

DISPOSITIF DE MESURE DE LA VITESSE DU VENT

La présente invention concerne le domaine de la mesure du vent, plus particulièrement à l'aide de lumière laser.

5 On connaît déjà dans l'état de la technique, notamment dans le document WO 2009/046717, un anémomètre utilisant un système Lidar (Light Détection And Ranging). Ce dispositif est capable d'émettre un faisceau laser, focalisé par un système optique à une distance de focalisation de plusieurs dizaines de mètres, vers un volume de mesure dans lequel des particules présentes dans l'air se déplacent, sous l'effet du vent.
10 Ces particules réfléchissent la lumière reçue, en émettant un faisceau en direction du système optique, appelé faisceau réfléchi. Le Lidar reçoit le faisceau réfléchi par les particules, et traite ensuite les interférences intervenant entre le faisceau émis et le faisceau réfléchi, de façon à en déduire la vitesse des particules, le décalage des fréquences entre le faisceau émis et le faisceau réfléchi dépendant de cette vitesse, par
15 effet Doppler.

Il se trouve qu'un tel dispositif d'émission de faisceau laser est particulièrement coûteux à réaliser.

La présente invention a notamment pour but de proposer un dispositif de mesure de la vitesse du vent moins coûteux.

20 A cet effet, l'invention a notamment pour objet un dispositif de mesure de la vitesse du vent, comportant :

- des moyens d'émission d'un faisceau laser, appelé faisceau émis
 - des moyens de focalisation du faisceau émis, à une distance de focalisation pré-déterminée,
 - des moyens de réception du faisceau émis après réflexion par une particule présente dans l'air, appelé faisceau réfléchi,
 - des moyens de transmission du signal d'interférences intervenant entre le faisceau émis et le faisceau réfléchi à des moyens de traitement du signal, pour en déduire la vitesse de la particule,
- 30 dans lequel les moyens d'émission comprennent une diode laser et les moyens de réception sont associés à la diode laser par rétro-injection intra-cavité, la distance de focalisation étant comprise entre 5 cm et 2 m.

En utilisant une diode laser, on fournit un dispositif beaucoup plus économique pour mesurer la vitesse du vent. En outre, la réception du faisceau réfléchi est réalisée par rétro-injection intra-cavité, ce qui est particulièrement intéressant. On notera que la rétro-injection intra-cavité est aussi connue sous le nom anglais de "self-mixing" et correspond

CA 2,777,036

- 2 -

à un dispositif dans lequel le faisceau réfléchi est réinjecté dans la même cavité que le faisceau émis par la diode laser. Généralement, les moyens de réception du faisceau réfléchi comprennent une photodiode, disposée juste derrière la diode laser, et les interférences sont directement créées à l'intérieur de la cavité laser puis reçues par la photodiode. On notera que les moyens de réception associés à la diode laser par rétro-injection intra-cavité permettent de réaliser en particulier une amplification optique du signal d'interférences. L'utilisation du rétro-injection intra-cavité est avantageuse, d'une part parce qu'une diode laser et une photodiode sont peu coûteuses, d'autre part parce qu'elles ne nécessitent pas de prévoir un détecteur à part, disposé à un autre emplacement que le laser et recevant uniquement le faisceau réfléchi après déviation de ce faisceau réfléchi par un interféromètre. Ainsi, on utilise une photodiode qui est placée juste derrière la diode, et il n'est pas nécessaire de gérer les problèmes d'alignement d'un interféromètre. Par ailleurs, le dispositif est particulièrement compact, puisque le faisceau réfléchi revient dans la cavité de la diode laser, ce qui est très différent dans le cas où l'on utilise un interféromètre, réfléchissant le faisceau reçu, par exemple selon un angle de 90° par rapport au faisceau émis, ce qui requiert de placer le détecteur à une certaine distance du laser, et prend donc de la place. Ainsi, le dispositif proposé peut avoir un volume voisin de celui d'un cube de 1 cm d'arête, et de 10 à 20 cm d'arête si l'on inclut les moyens de traitement du signal dans le dispositif, alors qu'un dispositif muni d'un Lidar a généralement un volume voisin de celui d'un cube de 50 cm d'arête, et pèse autour de 50 kg.

On notera que les particules qui réfléchissent la lumière du dispositif sont des particules se trouvant dans l'air, souvent appelées aérosols. Ces particules ont généralement un diamètre compris entre 0,1 µm et 10 µm. Aussi, la diffusion réalisée lors de la réflexion du faisceau émis est une diffusion de Mie, mise en œuvre à l'échelle de la particule, et se distingue d'une diffusion de Rayleigh, mise en œuvre à l'échelle d'une molécule. Les particules peuvent être par exemple des particules comprenant du carbone ou des ions.

La densité de ces particules dans l'air est une densité très particulière, du fait qu'elle est très faible et qu'il est donc difficile d'obtenir un signal continu pour analyser les interférences. Par ailleurs, généralement, plus la distance focale est grande, meilleure est la mesure car le mouvement de l'air est peu contrarié par la présence du dispositif.

Aussi, alors que les anémomètres comprenant un laser focalisent généralement à une distance de plusieurs dizaines de mètres, l'inventeur a eu l'idée de focaliser sur une distance plus petite et a constaté que, pour une distance focale comprise entre 5 cm et 2 m, on obtient un signal suffisamment périodique et d'intensité suffisante pour être traité

par la suite afin de fournir la vitesse du vent. On notera toutefois que ce signal est épisodique.

Ainsi, en prévoyant une distance de focalisation comprise entre 5 cm et 2 m, on fait une utilisation pertinente du phénomène de rétro-injection intra-cavité pour la mesure de 5 la vitesse du vent. En effet, en focalisant sur une distance plus petite, on recueille davantage de lumière après réflexion sur la particule. Ainsi, la puissance du signal reçu peut être supérieure à celle générée par le bruit de la diode laser et le dispositif fournit des résultats satisfaisants. Par ailleurs, on prévoit une distance de focalisation supérieure à 5 cm, si bien que les mouvements de l'air dans la zone de focalisation ne sont pas 10 contrariés par le volume du dispositif.

On notera que les moyens de focalisation du faisceau émis focalisent la lumière vers un volume de focalisation prédéterminé. Ce volume est suffisamment grand pour que l'on puisse avoir un signal réfléchi par une ou plusieurs particules au moins toutes les secondes, et suffisamment petit pour que l'éclairage du faisceau laser soit 15 suffisamment concentré. Le dispositif est adapté pour traiter un faisceau réfléchi par des particules ayant un diamètre compris entre 0,1 et 10 µm, par exemple une particule comprenant du carbone ou un ion.

Le dispositif peut en outre comporter l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes.

20 - Les moyens de transmission du signal sont électroniques. Ils comprennent une carte de transmission comportant un circuit imprimé sur lequel sont soudés des composants électroniques, de manière à servir d'interface entre les moyens de réception du dispositif et les moyens de traitement du signal. On notera que cette carte de transmission est configurée de façon spécifique, de façon à pouvoir transmettre de façon exploitable le signal d'interférences intervenant entre le faisceau émis et le faisceau 25 réfléchi. En particulier, la carte est configurée pour fournir un bruit particulièrement faible, étant donné que le signal réfléchi par les particules est intermittent et relativement faible.

- Les moyens de transmission du signal comprennent des moyens d'amplification électronique, de manière à réaliser une amplification électronique du signal 30 d'interférences. Cette amplification est particulièrement intéressante car le signal est intermittent et relativement faible.

- La diode laser est une diode émettant en mono-mode longitudinal. Ainsi, le signal est plus facile à traiter que dans le cas où la diode a une puissance supérieure et émet en multimodes. La diode laser est par exemple de type Fabry-Perot.

35 - Les moyens de traitement du signal sont configurés pour sélectionner une partie du signal reçu, à savoir la partie dont l'amplitude ou la puissance est supérieure à un

CA 2,777,036

- 4 -

seuil, ce seuil correspondant à l'amplitude ou à la puissance d'un signal obtenu par une mesure dans un endroit sans vent. Il est particulièrement intéressant de sélectionner une partie seulement du signal reçu. En effet, le signal d'interférences généré par une particule est épisodique, il est donc avantageux de ne sélectionner que la partie du signal

5 ayant une certaine amplitude ou puissance, correspondant à des interférences effectives. Ainsi, plutôt que d'utiliser tout le signal reçu, sans effectuer de tri, on propose de ne traiter que la partie du signal correspondant à un pic, et de ne déduire la vitesse du vent qu'à partir de cette partie. On notera que la sélection effectuée par les moyens de traitement du signal peut éventuellement être effectuée après un traitement préalable du signal reçu.

10 Par exemple, on peut appliquer tout d'abord une transformée de Fourier sur le signal reçu, puis effectuer une sélection sur le signal résultant de cette transformée, au cours de laquelle on sélectionne la partie de la transformée dont l'amplitude ou la puissance est supérieure à un seuil, ce seuil correspondant à l'amplitude ou à la puissance de la transformée de Fourier d'un signal obtenu par une mesure dans un endroit sans vent.

15 - Les moyens de traitement du signal comprennent des moyens de détection d'un pic, des moyens d'enregistrement du signal dans un intervalle de temps autour de ce pic et des moyens d'application d'une transformée de Fourier sur ce signal. En effet, le signal étant épisodique, l'application d'une transformée de Fourier sur tout le signal est plus difficilement exploitable. En n'appliquant la transformée que sur une partie donnée du signal, les résultats sont particulièrement satisfaisants pour déterminer la vitesse du vent.

20 - L'intervalle de temps sur lequel on enregistre le signal est compris entre 50 et 300 µs autour du pic.

- La transformée de Fourier est effectuée sur une gamme de fréquences comprise entre 0 et 1 GHz.

25 - La longueur d'onde de la lumière émise par diode laser est voisine de 780 nm. Néanmoins, d'autres longueurs d'onde peuvent être envisagées.

- La puissance de la diode laser est comprise entre 0 et 50 mW, de préférence entre 0 et 30 mW.

- La transformée de Fourier est effectuée sur un intervalle de temps inférieur à

30 200 µs.

- Le dispositif est alimenté par énergie photovoltaïque. En effet, le dispositif présenté ci-dessus requérant peu d'énergie, de l'ordre de quelques watts seulement, on peut utiliser une cellule photovoltaïque, ayant par exemple une puissance de 10 W, pour faire fonctionner le dispositif. Ce type d'alimentation est particulièrement intéressant, du fait que l'anémomètre est disposé à l'extérieur, donc exposé à l'énergie solaire, et du fait que cela évite d'avoir à prévoir d'acheminer de l'énergie jusqu'au dispositif. On notera que les

CA 2,777,036

- 5 -

moyens d'alimentation ne font pas forcément partie du dispositif. Par ailleurs, le dispositif peut bien sûr être alimenté par d'autres moyens d'alimentation, par exemple par batterie.

- Les moyens de traitement du signal sont capables de fournir, outre la vitesse de la particule, la quantité de particules dans l'air. On peut en particulier quantifier ainsi la 5 pollution de l'air.

- Le dispositif comprend trois diodes laser, disposées de façon à émettre trois faisceaux laser non coplanaires. Ainsi, on obtient une mesure très précise de la vitesse du vent dans l'espace, du fait que chaque diode laser permet d'obtenir la composante du vent dans une direction, et que les trois directions ne sont pas coplanaires. En d'autres 10 termes, comme une diode laser permet de mesurer la vitesse dans une direction, on peut au choix mesurer la vitesse du vent selon une direction (une seule diode), dans un plan (deux diodes), ou dans l'espace (trois diodes).

- Le dispositif comprend les moyens de traitement du signal d'interférences intervenant entre le faisceau émis et le faisceau réfléchi. Dans ce cas, les moyens de 15 traitement font partie du dispositif.

L'invention a également pour objet un système de mesure de la vitesse du vent, comportant le dispositif décrit ci-dessus et les moyens de traitement du signal d'interférences intervenant entre le faisceau émis et le faisceau réfléchi. Dans ce cas, les moyens de traitement sont à distance du dispositif.

20 L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple, faite en référence aux dessins dans lesquels :

- la figure 1 est une représentation schématique d'un exemple de dispositif de mesure de la vitesse du vent ; et
- la figure 2 est un diagramme illustrant un exemple de granulométrie des particules de l'air réfléchissant la lumière laser.

25 On a représenté sur la figure 1 un dispositif 10 de mesure de la vitesse du vent.
Ce dispositif 10 comporte des moyens 12 d'émission d'un faisceau laser. Les moyens 12 comprennent une diode laser, par exemple une diode de type Fabry-Perot, émettant en mono-mode longitudinal, à une longueur d'onde de 785 nm dans cet 30 exemple. D'autres longueurs d'ondes pourraient être utilisées. Toujours dans cet exemple, la puissance de la diode laser 12 est comprise entre 0 et 30 mW. Cette diode laser 12 comporte une cavité optique 14 pour amplifier la lumière laser émise. Le dispositif 10 comporte par ailleurs des moyens de focalisation 16, capables de focaliser le faisceau émis par la photodiode 12 vers un espace de focalisation 18. Le volume de 35 focalisation 18, ou volume efficace, est disposé à une distance D des moyens de

focalisation 16, cette distance D correspondant à la distance de focalisation du dispositif. La distance de focalisation D est comprise entre 5 cm et 2 m.

Le dispositif 10 comporte par ailleurs des moyens 20 de réception d'un faisceau réfléchi. Plus précisément, les moyens 20 sont configurés pour recevoir un faisceau émis par la diode 12, après réflexion de ce faisceau par une particule présente dans l'air et se trouvant dans le volume de focalisation 18, par exemple une particule composée de carbone ou un ion. Comme on peut le voir sur la figure 2, la taille des particules est, dans cet exemple, de l'ordre de quelques dixièmes de micromètres, comprise entre 0,1 et 5 µm.

Les moyens de réception 20 comprennent une photodiode, disposée juste derrière la diode laser 12, et sont associés à la diode laser 12 par rétro-injection intra-cavité, c'est-à-dire que le faisceau réfléchi passe dans la cavité optique 14 de façon que des interférences se produisent entre le faisceau émis et le faisceau réfléchi.

Le dispositif 10 comporte par ailleurs des moyens 22 de transmission du signal d'interférences à des moyens 24 de traitement de ce signal, permettant de déduire la vitesse de la ou des particules ayant réfléchi le faisceau émis. Les moyens de transmission 22 sont électroniques. Ils comprennent en particulier des moyens d'amplification électronique, de manière à réaliser une amplification électronique du signal d'interférences. Les moyens de transmission sont composés par exemple d'une carte de transmission, comprenant un circuit imprimé sur lequel sont soudés des composants électroniques, parmi lesquels des amplificateurs opérationnels. Les moyens 24 de traitement du signal sont configurés pour pouvoir appliquer une ou plusieurs transformées de Fourier au signal reçu afin de fournir des informations relatives à la vitesse du vent. Dans cet exemple, les moyens 24 sont à distance du dispositif 10, néanmoins ils pourraient également être intégrés au dispositif 10.

Plus précisément, les moyens 24 de traitement du signal sont configurés pour sélectionner une partie du signal reçu par les moyens de transmission 22, cette partie correspondant à la partie du signal dont l'amplitude ou la puissance est supérieure à un seuil prédéterminé. Ce seuil prédéterminé correspond à l'amplitude ou la puissance du signal reçu par les moyens de transmission 22 suite à une mesure effectuée dans un endroit sans vent. En d'autres termes, ce seuil prédéterminé est caractéristique du bruit moyen du dispositif 10, que l'on supprime du signal reçu lorsque l'on souhaite mesurer le vent. Les moyens 24 de traitement du signal comportent par ailleurs des moyens de détection d'un pic et des moyens d'enregistrement du signal reçu. Ces moyens d'enregistrement sont configurés pour enregistrer le signal dans un intervalle de temps autour du pic détecté. Cet intervalle de temps est compris entre 50 et 300 µs autour du

pic, par exemple 90 µs, c'est-à-dire qu'il commence 45 µs avant le pic détecté et s'arrête 45 µs après le pic détecté. En effet, le passage d'une particule dans le faisceau produit un signal sinusoïdal temporaire dont la durée est déterminée par le temps d'interaction entre la particule et le faisceau. Cette durée est généralement comprise entre 50 et 300 µs.

5 Par ailleurs, les moyens de traitement du signal 24 comprennent des moyens d'application d'une ou plusieurs transformées de Fourier sur le signal enregistré. La transformée de Fourier est effectuée sur une gamme de fréquences comprise entre 0 et 1 GHz, pendant un intervalle de temps inférieur à 200 µs.

10 Les moyens 24 de traitement du signal sont par ailleurs capables, dans cet exemple, de fournir la quantité de particules dans l'air, permettant d'en déduire la pollution de l'air au voisinage du volume de focalisation 18.

Le dispositif 10 comporte par ailleurs une source d'alimentation 26, qui peut prendre la forme d'une cellule photovoltaïque ou de tout autre type d'alimentation permettant de faire fonctionner la diode laser 12.

15 Le fonctionnement du dispositif 10 va à présent être décrit.

Afin de mesurer la vitesse du vent, la diode laser 12 émet un faisceau, appelé faisceau émis, qui sort de la cavité 14, passe dans le système optique 16 et est ensuite focalisé vers le volume de focalisation 18. Dans ce volume de focalisation 18, de l'air circule, donc en particulier des particules. En effet, le volume de focalisation 18 a des dimensions suffisantes pour garantir qu'au moins une particule se trouve à l'intérieur de ce volume de façon intermittente, par exemple au moins toutes les secondes et est capable de réfléchir le faisceau laser émis. Après réflexion par au moins l'une des particules, le faisceau réfléchi passe à nouveau à travers le système optique 16, traverse ensuite la cavité 14, jusqu'à être reçu par la photodiode 20. Ainsi, la cavité optique 14 est un lieu dans lequel les interférences peuvent intervenir entre le faisceau émis par la diode 12 et le faisceau réfléchi par la particule. Aussi, la photodiode 20 reçoit un signal d'interférence qui est ensuite transmis aux moyens de traitement 24 grâce aux moyens 22. On notera que le signal est amplifié électroniquement avant d'être transmis aux moyens de traitement 24. A partir de ce signal reçu, les moyens 24 effectuent un traitement de façon à en déduire la vitesse de la ou des particules ayant réfléchi le faisceau. En effet, sous l'effet du vent, une particule qui se trouve dans le volume 18 se trouve en déplacement par rapport au récepteur 20, si bien que la fréquence du faisceau réfléchi est décalée par rapport à la fréquence du faisceau émis, par effet Doppler. Aussi, à partir du signal d'interférences, on peut déduire le décalage de fréquences et donc la composante de la vitesse de la particule par rapport au récepteur 20 dans la direction X.

CA 2,777,036

- 8 -

Plus précisément, à partir du signal d'interférences, on effectue tout d'abord une sélection, en supprimant du signal reçu toute la partie dont l'amplitude ou la puissance est inférieure au seuil correspondant au bruit du dispositif 10, déterminé par mesure dans un endroit sans vent. Puis, à partir du signal sélectionné, on détecte un pic et on enregistre le
5 signal dans un intervalle de temps compris par exemple entre 45 µs avant le pic et 45 µs après le pic. On applique ensuite une ou plusieurs transformées de Fourier sur ce signal, sur un intervalle de temps inférieur à 200 µs. A partir de cette transformée de Fourier, on peut déduire le décalage de fréquences entre le faisceau émis et le faisceau réfléchi, donc la composante de la vitesse dans la direction X.

10 Ainsi, on dispose d'un dispositif 10 peu coûteux et prenant très peu de place pour mesurer la vitesse du vent. En outre, ce dispositif 10 est d'utilisation aisée car il n'est pas nécessaire de prévoir d'alignement avec un interféromètre.

On notera que l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation précédemment décrits.

15 En particulier, afin d'avoir une meilleure précision dans la vitesse du vent, on peut prévoir que le dispositif 10 comprenne trois diodes laser 12, émettant chacune dans une direction non coplanaire.

Par ailleurs, dans l'exemple décrit, les moyens de traitement 24 sont disposés à distance du dispositif 10. Néanmoins, on peut tout à fait envisager que les moyens de
20 traitement 24 fassent partie du dispositif 10, par exemple sous la forme d'une puce électronique intégrée dans le dispositif 10, configurée pour transmettre les informations à un enregistreur disposé à distance du dispositif 10.

REVENDICATIONS

1. Dispositif (10) de mesure de la vitesse du vent, comportant :
- des moyens (12) d'émission d'un faisceau laser, appelé faisceau émis,

5 - des moyens (16) de focalisation du faisceau émis, à une distance de focalisation (D) prédéterminée,

- des moyens (20) de réception du faisceau émis après réflexion par une particule présente dans l'air (18), appelé faisceau réfléchi,

10 - des moyens (32) de transmission du signal d'interférences intervenant entre le faisceau émis et le faisceau réfléchi à des moyens (24) de traitement du signal pour en déduire la vitesse de la particule, les moyens (24) de traitement du signal étant configurés pour sélectionner une partie du faisceau réfléchi, à savoir la partie dont l'amplitude ou la puissance est supérieure à un seuil, ce seuil correspondant à l'amplitude ou la puissance du faisceau réfléchi par une mesure dans un endroit sans vent,

15 dans lequel les moyens d'émission comprennent une diode laser (12) et les moyens de réception (20) sont associés à la diode laser par rétro-injection intra-cavité, la distance de focalisation (D) étant comprise entre 5 cm et 2 m.

20 2. Dispositif selon la revendication 1 dans lequel la diode laser (12) est une diode émettant en mono-mode longitudinal.

3. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, dans lequel la sélection effectuée par les moyens (24) de traitement du signal est effectuée après un traitement préalable du faisceau réfléchi.

25 4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel les moyens (24) de transmission du signal sont électroniques et comprennent une carte de transmission.

5. Dispositif selon la revendication 4 dans lequel les moyens (24) de transmission du signal comprennent des moyens d'amplification électronique, de manière à réaliser une amplification électronique du signal d'interférences.

30 6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel les moyens (24) de traitement du signal comprennent des moyens (24) de détection d'un pic, des moyens (24) d'enregistrement du signal dans un intervalle de temps autour de ce pic et des moyens (24) d'application d'une transformée de Fourier sur ce signal.

35 7. Dispositif selon la revendication 6, dans lequel l'intervalle de temps sur lequel on enregistre le signal est compris entre 50 et 300 µs autour du pic.

CA 2,777,036

- 10 -

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel la puissance de la diode laser 12 est comprise entre 0 et 50 mW.

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, alimenté par énergie photovoltaïque (26).

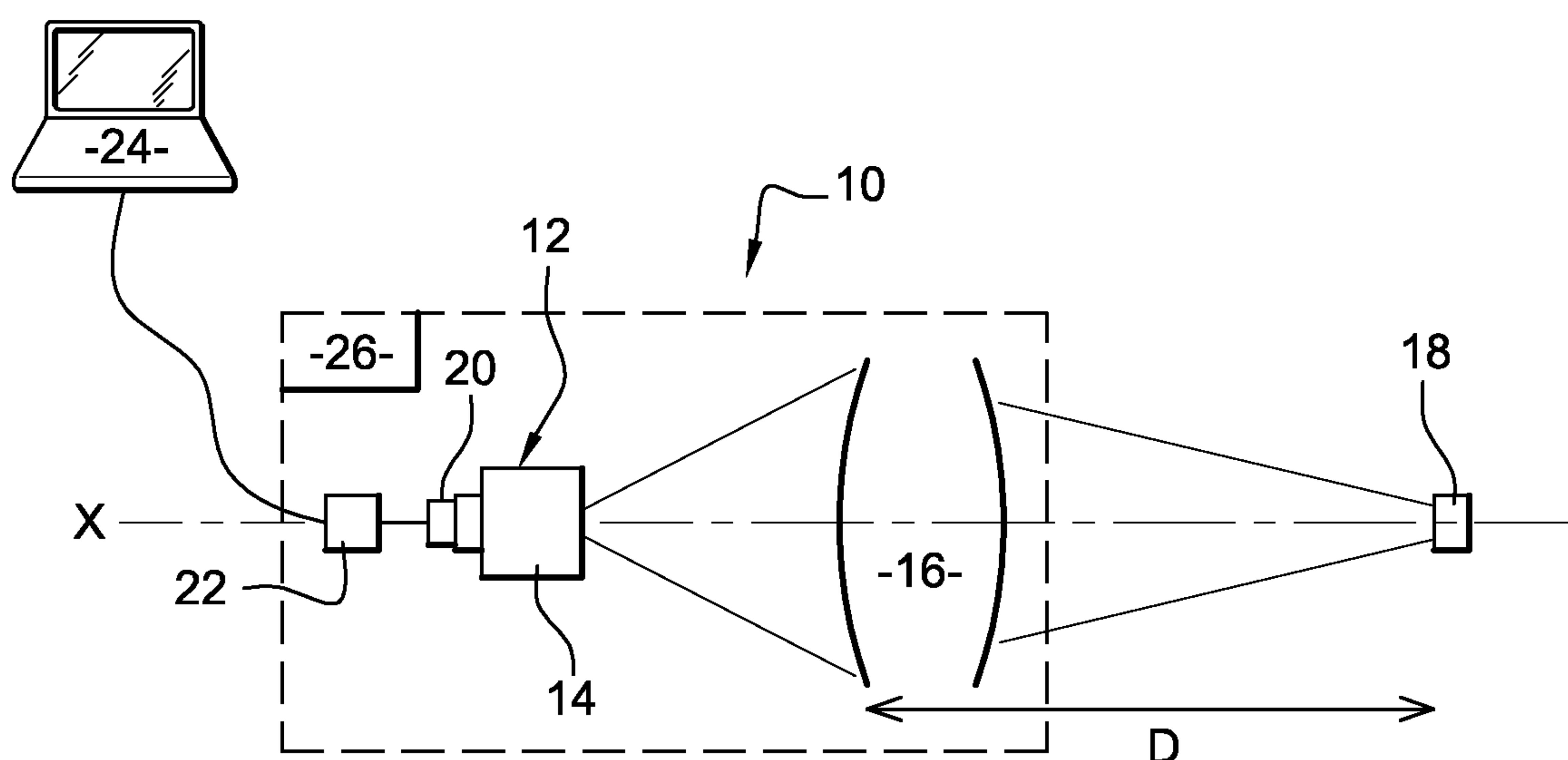
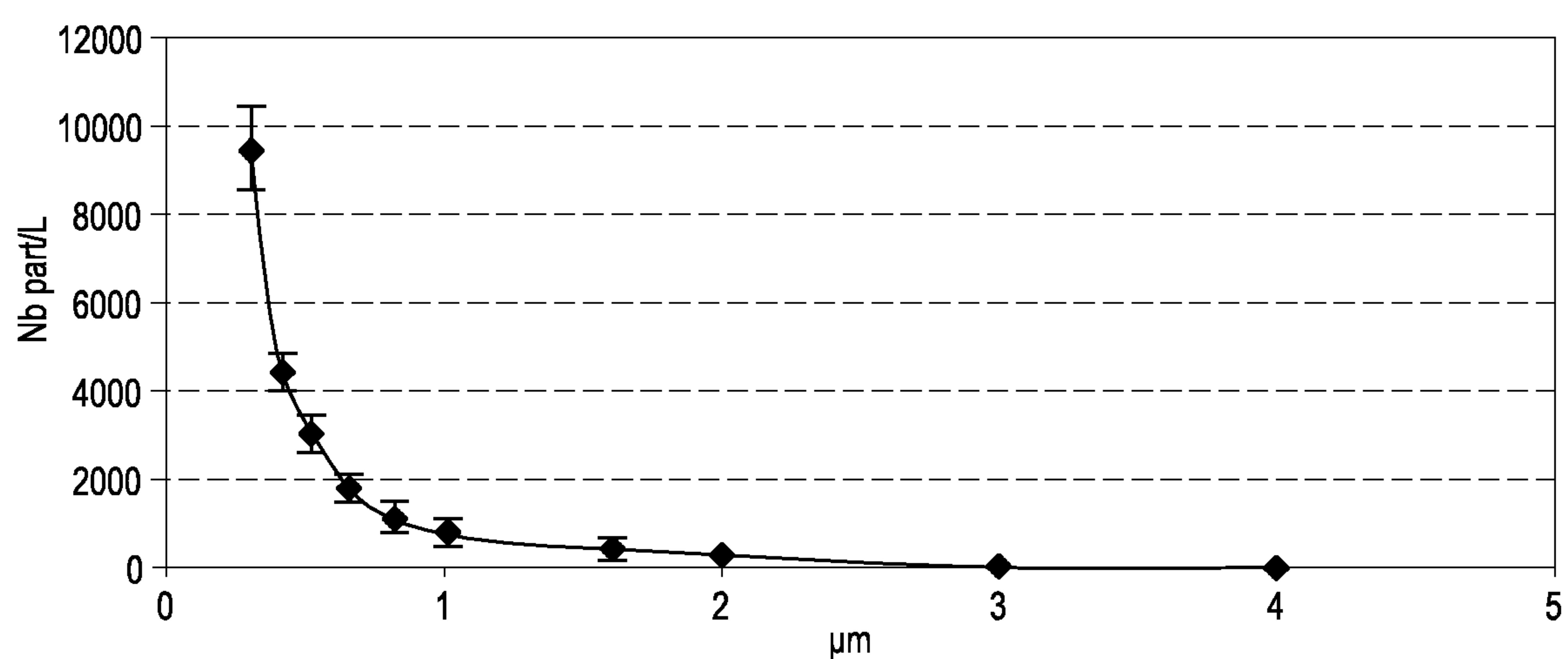
5 10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel les moyens (24) de traitement du signal sont capables de fournir, outre la vitesse de la particule, la quantité de particules dans l'air (18).

10 11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, comprenant trois diodes laser (12), qui sont disposées de façon à émettre trois faisceaux laser non coplanaires.

12. Dispositif selon la revendication 3, dans lequel le traitement préalable du faisceau réfléchi est une application d'une transformée de Fourier sur le faisceau réfléchi.

13. Dispositif selon la revendication 8, dans lequel la puissance de la diode laser 12 est comprise entre 0 et 30 mW.

1/1

**Fig. 1****Fig. 2**

