



(51) Classification internationale des brevets :
G01P 5/24 (2006.01) G01F 1/66 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2019/060218

(22) Date de dépôt international :
19 avril 2019 (19.04.2019)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1853483 20 avril 2018 (20.04.2018) FR

(71) Déposants : UNIVERSITE DU MANS [FR/FR] ; Avenue Olivier Messiaen, 72000 LE MANS (FR). ASSOC TRANSFERTS TECHNOLOGIES MANS [FR/FR] ; 20 rue Thales de Milet, 72000 LE MANS (FR). CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS) [FR/FR] ; 3, rue Michel-Ange, 75016 PARIS (FR).

(72) Inventeurs : EMERY, Jacques ; 24bis, rue de Montaigu, 72000 LE MANS (FR). TABELLOUT, Mohammed ; La Rose des Vents, 72550 FAY (FR). MECHRI, Charfeddine ; 27, rue Peronnet, 61000 ALENCON (FR).

(74) Mandataire : LE GUEN MAILLET 728 ; 3, impasse de la Vigie, CS 71840, 35418 SAINT-MALO Cedex (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: ULTRASONIC ANEMOMETER

(54) Titre : ANEMOMETRE A ULTRASON

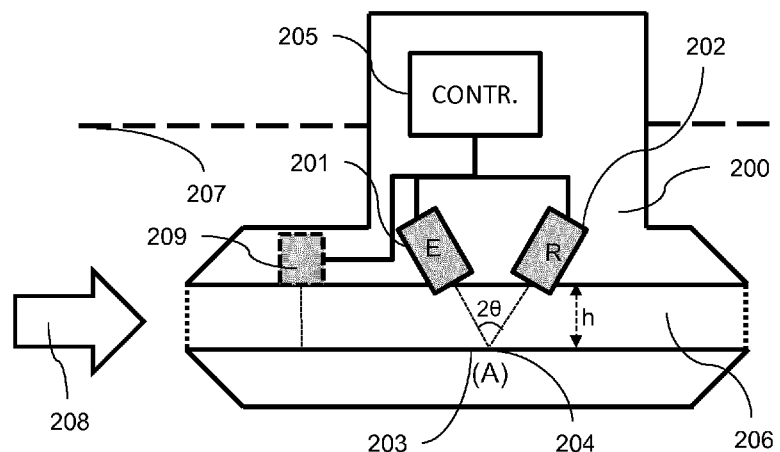


Fig. 2

205 CONTR.

(57) Abstract: The invention relates to an electronic device for measuring the flow speed of a fluid, comprising at least two electro-acoustic transducers suitable for emitting and/or receiving acoustic signals through the flow of the fluid, the electronic device being suitable for determining a measurement of the flow speed of the fluid based on the characteristics of an acoustic signal emitted and those of one or more acoustic signals received, said received acoustic signals corresponding to reflections of the acoustic signal emitted.

(57) Abrégé : L'invention concerne un dispositif électronique de mesure d'une vitesse d'écoulement d'un fluide comprenant au moins deux transducteurs électroacoustiques adapté pour émettre et/ou recevoir des signaux acoustiques à travers l'écoulement du fluide, le dispositif électronique étant adapté pour déterminer une mesure de la vitesse d'écoulement du fluide à partir des caractéristiques d'un signal acoustique émis et d'un ou plusieurs signaux acoustiques reçus, ces signaux acoustiques reçus correspondant à des réflexions du signal acoustique émis.

(84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

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

ANEMOMETRE A ULTRASON

La présente invention concerne le domaine de la métrologie. La présente
5 invention concerne plus particulièrement un anémomètre avantageusement adapté au domaine aéronautique.

Il est connu d'utiliser dans le domaine aéronautique des anémomètres connus sous les noms de tube de Pitot ou d'antenne de Prandtl.

Un tel anémomètre 100, ci-après tube de Pitot, est illustré en Fig. 1. Le principe
10 de fonctionnement d'un tube de Pitot est de mesurer, par exemple au moyen d'un manomètre différentiel 103, une différence de pression entre une pression P_s dite pression statique et une pression P_t , dite pression totale. La pression statique P_s correspond à la pression d'une chambre 101B reliée par un tube à une prise d'air 101A situé dans le corps du tube de Pitot 100. La prise d'air 101A est située
15 perpendiculairement au sens d'écoulement du fluide, sens d'écoulement ici matérialisé par une flèche allant de la gauche vers la droite dans la Fig. 1. Cette pression statique P_s ne varie pas en fonction de la vitesse d'écoulement du fluide à mesurer. La pression totale P_t correspond à la pression d'une chambre 102B reliée par un tube à une prise d'air 102A située dans le corps du tube de Pitot 100. La prise d'air 102A est située face
20 au sens d'écoulement du fluide. La pression totale P_t correspond à la somme de la pression statique P_s et d'une pression dite dynamique. La pression dynamique correspond à la pression causée par l'écoulement du fluide. La différence entre la pression totale P_t et la pression statique P_s correspond donc à la seule pression dynamique, pression dynamique qui est dépendante de la vitesse d'écoulement du fluide. Un tube de Pitot 100 est typiquement fixé sur le fuselage 104 d'un aéronef, selon
25 une position adaptée au sens de déplacement de l'aéronef, afin de déterminer une vitesse d'écoulement de l'air autour de l'avion, ladite vitesse étant communément appelée vent relatif. La connaissance de cette vitesse vent relatif est primordiale pour un aéronef dont la sustentation est assurée par une force aérodynamique, la portance, produite à l'aide
30 d'une voilure. En effet, sous une certaine vitesse, dite de décrochage, l'aéronef connaît une perte de portance pouvant mener à un accident.

Les tubes de Pitot ne peuvent plus fonctionner correctement si l'une ou l'autre des entrées d'air 101A ou 102A est obstruée. Ainsi la présence d'eau, la formation de glace ou une collision avec des corps étrangers (par exemple insectes ou oiseaux) peut

obstruer l'une des entrées d'air. Le tube de Pitot donnera alors une mesure erronée du vent relatif, sans aucune indication que cette mesure est erronée. Par exemple, une obstruction de la prise d'air 102A donnera une mesure erronée, indiquant une vitesse vent relatif en augmentation lorsque l'avion prend seulement de l'altitude. En cas de mauvaises conditions météo, particulièrement avec un manque de visibilité, il peut être impossible pour un pilote de s'apercevoir que la mesure de vent relatif fournie par le tube de Pitot est incohérente, ce qui peut mener potentiellement à des situations dangereuses.

Il est donc nécessaire de proposer une solution permettant une mesure de la vitesse d'écoulement d'un fluide de manière fiable.

L'invention concerne un dispositif électronique de mesure d'une vitesse d'écoulement d'un fluide, le dispositif électronique comprenant :

- un premier transducteur électroacoustique, adapté pour émettre et/ou recevoir un signal acoustique selon un premier axe central,
- un deuxième transducteur électroacoustique, adapté pour émettre et/ou recevoir un signal acoustique selon un deuxième axe central, le premier axe central et le deuxième axe central définissant de façon unique un plan parallèle à la direction de l'écoulement du fluide à mesurer,
- une surface adaptée pour réfléchir un signal acoustique, la surface étant disposée à un point d'intersection du premier axe central et du deuxième axe central, chaque axe formant un même angle avec la droite orthogonale à la surface passant par le point d'intersection, chaque transducteur électroacoustique étant situé à une même distance de la surface,
- un module de contrôle des transducteurs électroacoustiques,

le dispositif électronique étant adapté pour permettre un écoulement libre du fluide entre la surface et les deux transducteurs électroacoustiques, et,

le dispositif électronique étant adapté pour :

- émettre, via le premier transducteur électroacoustique, un premier signal acoustique,
- recevoir, via le premier ou le deuxième transducteur électroacoustique, un deuxième signal acoustique correspondant à une ou plusieurs réflexions du premier signal acoustique,

- déterminer, en fonction de la distance (h), de l'angle (θ), du premier signal acoustique émis et du deuxième signal acoustique reçu une vitesse d'écoulement du fluide.

Selon un mode de réalisation complémentaire de l'invention, chaque transducteur
5 électroacoustique est un capteur ultrasonique sans contact opérant dans une gamme de fréquence de 250 kHz à 650 kHz.

Selon un mode de réalisation complémentaire de l'invention, le dispositif électronique est adapté pour :

- déterminer un premier temps de trajet dit aller (T^+) d'un signal
10 acoustique entre le premier transducteur électroacoustique et le deuxième transducteur électroacoustique via une réflexion sur la surface,
- déterminer un deuxième temps de trajet dit retour (T^-) d'un signal
15 acoustique entre le deuxième transducteur électroacoustique et le premier transducteur électroacoustique via une réflexion sur la surface,
- déterminer une vitesse (V) de l'écoulement du fluide selon la formule :

$$V = \frac{2h}{\sin(2\theta)} \left(\frac{1}{T^+} - \frac{1}{T^-} \right)$$

20

Selon un mode de réalisation complémentaire de l'invention, le dispositif électronique est adapté pour déterminer la célérité (C) du son dans le fluide selon la formule :

$$C = \frac{h}{\cos\theta} \left(\frac{1}{T^-} + \frac{1}{T^+} \right)$$

25

Selon un mode de réalisation complémentaire de l'invention, le dispositif électronique comprend un troisième transducteur électroacoustique disposé perpendiculairement au sens d'écoulement du fluide, le dispositif électronique étant adapté pour déterminer une célérité (C) du son dans le fluide au moyen de ce troisième
30 transducteur électroacoustique.

Selon un mode de réalisation complémentaire de l'invention, le premier signal acoustique émis étant un signal acoustique harmonique mono-fréquentiel avec une enveloppe gaussienne, associé à une première fréquence (f_c), le deuxième signal

acoustique, correspondant au premier signal acoustique réfléchi, étant reçu par le deuxième transducteur électroacoustique et étant associé à une deuxième fréquence (f_d), le dispositif électronique est adapté pour déterminer la vitesse de l'écoulement du fluide (V) selon la formule :

5
$$V = \frac{C}{\sin(\theta)} \cdot \frac{(f_d - f_e)}{f_d}$$

Selon un mode de réalisation complémentaire de l'invention, le premier signal acoustique émis par le premier transducteur électroacoustique étant un signal acoustique intermittent dit « burst » consistant en un train d'impulsions sinusoïdales, le dispositif électronique est adapté pour :

- 10
- réaliser une sommation du premier signal acoustique et du deuxième signal acoustique correspondant au signal acoustique reçu par le deuxième transducteur acoustique, la sommation déterminant un signal dit de battement,
 - 15 - déterminer une mesure de la fréquence de modulation du signal de battement,
 - déterminer une vitesse d'écoulement du fluide en fonction de la mesure de la fréquence de modulation du signal de battement.

L'invention concerne également un dispositif électronique de mesure d'une vitesse d'écoulement d'un fluide, le dispositif électronique étant adapté pour déterminer la vitesse d'écoulement d'un fluide de manière similaire à l'un ou plusieurs des dispositifs électroniques décrits dans le présent document.

L'invention concerne également un procédé de détermination de la vitesse d'écoulement d'un fluide, le procédé étant exécuté par un dispositif électronique tel que décrit dans le présent document, le procédé comprenant les étapes de :

- 25
- émettre, via le premier transducteur électroacoustique, un premier signal acoustique,
 - recevoir, via le premier ou le deuxième transducteur électroacoustique, un deuxième signal acoustique correspondant à une ou plusieurs réflexions du premier signal acoustique,
 - 30 - déterminer, en fonction de la distance (h), de l'angle (θ), du premier signal acoustique émis et du deuxième signal acoustique reçu une vitesse.

L'invention concerne également un programme d'ordinateur, qui peut être stocké sur un support et/ou téléchargé d'un réseau de communication, afin d'être lu par un processeur d'un dispositif électronique. Ce programme d'ordinateur comprend des instructions pour implémenter tout ou partie des étapes du procédé de mesure d'une
5 vitesse d'un écoulement d'un fluide, lorsque ledit programme est exécuté par le processeur.

L'invention concerne également un medium de stockage d'informations ou support d'enregistrement, lisible par un dispositif électronique, comprenant un tel programme d'ordinateur.

10 Les caractéristiques de l'invention mentionnées ci-dessus, ainsi que d'autres, apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'un exemple de réalisation, ladite description étant faite en relation avec les dessins joints, parmi lesquels :

- la **Fig. 1** illustre schématiquement un tube de Pitot tel que connu de l'homme
15 du métier,
- la **Fig. 2** illustre schématiquement un dispositif électronique adapté pour mesurer une vitesse d'écoulement d'un fluide selon un mode de réalisation de l'invention,
- la **Fig. 3** illustre schématiquement une architecture matérielle d'un dispositif
20 électronique adapté pour mesurer une vitesse d'écoulement d'un fluide selon un mode de réalisation de l'invention,
- la **Fig. 4** illustre schématiquement une architecture matérielle d'un dispositif électronique adapté pour mesurer une vitesse d'écoulement d'un fluide selon un mode de réalisation alternatif de l'invention.

25 La **Fig. 1** illustrant schématiquement un tube de Pitot tel que connu de l'homme du métier a été décrite précédemment. Des anémomètres fonctionnant selon le principe d'un tel tube de Pitot équipent la majorité des aéronefs aujourd'hui, avec les inconvénients présentés de vulnérabilité face à des conditions météorologiques particulières.

30 La **Fig. 2** illustre schématiquement un dispositif électronique 200 adapté pour mesurer une vitesse d'écoulement d'un fluide selon un mode de réalisation de l'invention.

Le dispositif électronique 200 comprend un premier transducteur électroacoustique E 201, adapté pour émettre ou recevoir un signal acoustique selon un

premier axe central, et un deuxième transducteur électroacoustique R 202, adapté pour émettre ou recevoir un signal acoustique selon un deuxième axe central. Le premier axe central et le deuxième axe central définissent de façon unique un plan parallèle à la direction de l'écoulement du fluide à mesurer (c'est-à-dire le plan de la feuille dans le cas de la Fig. 2). Le dispositif électronique 200 comprend une surface 203 adaptée pour réfléchir un signal acoustique. La surface est disposée à un point d'intersection A 204 du premier axe central et du deuxième axe central, chaque axe formant un même angle θ avec la droite orthogonale à la surface passant par le point d'intersection, chaque transducteur électroacoustique étant situé à une même distance « h » de la surface 203.

Le dispositif électronique 200 permet de réaliser des mesures non-intrusives. Autrement dit, la mesure de la vitesse de l'écoulement d'un fluide sera faite sans perturber l'écoulement de ce fluide. L'angle d'incidence des capteurs, c'est à dire l'angle « θ », est choisi de manière à maximiser l'interaction avec l'écoulement du fluide, cette interaction étant proportionnelle à $\sin(\theta)$ et minimiser les perturbations aéro-acoustiques, ces perturbations étant générées par le dépassement des transducteurs électroacoustiques pour des angles d'incidence importants. Le dispositif électronique 200 est par exemple conçu selon un angle $\theta = 24^\circ$, angle choisi comme compromis pour satisfaire à ces deux contraintes antagonistes.

Un transducteur électroacoustique est un dispositif adapté pour convertir un signal électrique en un signal acoustique et pour convertir un signal acoustique en un signal électrique. Par convention ci-après dans le présent document, on parle d'émission pour un transducteur électroacoustique lorsque celui-ci convertit un signal électrique en un signal acoustique, le signal émis étant le signal acoustique. De même, on parle de réception pour un transducteur électroacoustique lorsque celui-ci convertit un signal acoustique en un signal électrique, le signal reçu étant le signal acoustique, lequel signal acoustique est ensuite converti pour être transmis au module de contrôle 205 sous forme d'un signal électrique.

Dit autrement, comme illustré dans la Fig. 2, le dispositif électronique 200 comprend deux transducteurs électroacoustiques E et R disposés de manière à ce que tout signal acoustique émis par l'un des deux transducteurs électroacoustiques E ou R soit reçu par l'autre transducteur électroacoustique E ou R après une réflexion sur la surface 203. Pour cela, la surface 204 est possiblement plane, du moins sur une superficie adaptée pour réfléchir au mieux un signal acoustique entre les deux transducteurs électroacoustiques E et R. La surface 204 comprend le point

d'intersection des deux axes centraux d'émission des transducteurs électroacoustiques, chaque transducteur E et R voyant la surface sous le même angle θ par rapport à l'orthogonale à la surface 203 passant par le point d'intersection A.

Le dispositif électronique 200 comprend un module de contrôle 205 des
5 transducteurs acoustiques E et R. Le module de contrôle 205 est adapté pour mettre en œuvre un procédé de mesure d'une vitesse d'écoulement d'un fluide.

Le module de contrôle 205 est adapté pour émettre un signal électrique vers le transducteur électroacoustique E ou R, ledit signal électrique étant transformé par le transducteur électroacoustique E ou R en un signal acoustique. Le module de contrôle
10 205 est adapté pour recevoir du transducteur électroacoustique E ou R un signal électrique correspondant à la réception, et transformation, d'un signal acoustique par ledit transducteur électroacoustique E ou R.

Dans la Fig. 2, le sens d'écoulement du fluide mesuré correspond à la flèche allant de la gauche vers la droite. Il est à noter que le dispositif électronique 200 est aussi
15 adapté pour mesurer un sens d'écoulement opposé, c'est-à-dire allant de la droite vers la gauche, sans devoir modifier le dispositif électronique. Dans le cas d'un fluide s'écoulant suivant une direction différente, le dispositif électronique 200 est adapté pour mesurer la composante de la vitesse d'écoulement selon la direction de mesure indiquée sur la Fig. 2 par la flèche.

La distance « h » sépare les deux transducteurs électroacoustiques E et R de la surface réfléchissante 203. Le dispositif électronique, en particulier par le choix de la distance h, est adapté pour permettre un écoulement libre du fluide dont la vitesse d'écoulement est à mesurer entre la surface et les deux transducteurs E et R. Par écoulement libre, on entend que la vitesse d'écoulement du fluide n'est pas perturbée,
25 ou possiblement de façon non significative, par la présence du dispositif électronique.

Selon un mode de réalisation de l'invention illustré dans la Fig. 2, les deux transducteurs électroacoustiques E et R sont situés de manière à ce que leurs extrémités soient à fleur de la surface d'un tube creux 206 de diamètre h, le point A étant situé sur l'intérieur de la surface de ce tube creux. La surface 203 peut localement être aplatie
30 afin d'améliorer la réflexion d'un signal acoustique.

Selon un mode de réalisation alternatif, une surface 203 est positionnée par tout moyen en face des transducteurs électroacoustiques E et R, de manière à comprendre le point A et à réfléchir au mieux tout signal acoustique émis par l'un des transducteurs électroacoustiques vers l'autre transducteur électroacoustique.

La surface 203 est possiblement la surface d'un élément métallique bénéficiant d'un traitement de surface, par exemple d'un polissage. La surface 203 est adaptée pour réfléchir au mieux tout signal acoustique émis par l'un des deux transducteurs électroacoustiques E ou R vers l'autre transducteur électroacoustique R ou E. La surface
5 203 est possiblement une surface plane, mais peut aussi être adaptée afin de maximiser la réflexion d'un signal acoustique de l'un des deux transducteurs électroacoustiques E ou R vers l'autre transducteur électroacoustique R ou E.

Le dispositif électronique 200 est adapté pour émettre, via le premier transducteur électroacoustique E 201, un premier signal acoustique. Le module de contrôle 205 est
10 adapté pour contrôler cette émission du premier signal acoustique. Le dispositif électronique 200 est ensuite adapté pour recevoir, via le même premier transducteur électroacoustique E 201, un signal acoustique correspondant à la réflexion du premier signal acoustique contre le deuxième transducteur électroacoustique R 202, via deux réflexions sur la surface 203, et déterminer un délai dit de référence entre le moment de
15 ladite réception et le moment d'émission du premier signal acoustique. Dit autrement, le dispositif électronique 200 est adapté pour mesurer le délai, dit délai de référence, d'un trajet d'un signal acoustique émis par un transducteur électroacoustique, réfléchi sur la surface 203, réfléchi par le transducteur électroacoustique R 202, réfléchi une nouvelle fois par la surface 203 puis reçu par le transducteur électroacoustique E 201.
20 Dit autrement, le dispositif électronique 200 est adapté pour mesurer le délai de propagation d'un signal acoustique faisant un trajet aller-retour entre le transducteur électroacoustique E et le transducteur électroacoustique R.

En notant E-A le trajet d'un signal acoustique entre le transducteur électroacoustique E et le point d'intersection A et A-R, le trajet acoustique entre le point
25 d'intersection A et le transducteur électroacoustique R, le dispositif électronique 200 est donc adapté pour mesurer le délai de propagation acoustique T^+ d'un signal acoustique faisant le trajet aller E-A-R. Le dispositif électronique 200 est également adapté pour mesurer le délai de propagation acoustique T^- d'un signal acoustique faisant le trajet retour R-A-E.

30 Dans l'hypothèse où le sens d'écoulement du fluide est de la gauche vers la droite, c'est-à-dire celui matérialisé par la flèche 208 dans la Fig. 2, alors la vitesse du signal acoustique pour aller du transducteur électroacoustique E vers le point A, et pour aller du point A vers le transducteur électroacoustique R, est supérieure à la vitesse du même signal acoustique en l'absence d'écoulement du fluide. Dit autrement, le délai ou temps

de parcours T^+ du trajet E-A-R est réduit en présence d'un écoulement du fluide (selon le sens de la flèche 208) par rapport à une situation sans écoulement du fluide. Plus généralement, la vitesse du signal acoustique pour aller du transducteur électroacoustique E vers le point A, et pour aller du point A vers le transducteur électroacoustique R, est d'autant plus grande que la vitesse de l'écoulement du fluide est grande.

De même, dans la même hypothèse, la vitesse du signal acoustique pour aller du transducteur électroacoustique R vers le point A, et pour aller du point A vers le transducteur électroacoustique E, est inférieure à la vitesse du même signal acoustique en l'absence d'écoulement du fluide. Dit autrement, le délai ou temps de parcours T^- du trajet R-A-E est augmenté en présence d'un écoulement du fluide (selon le sens de la flèche 208) par rapport à une situation sans écoulement du fluide. Plus généralement, la vitesse du signal acoustique pour aller du transducteur électroacoustique R vers le point A, et pour aller du point A vers le transducteur électroacoustique E, est d'autant plus petite que la vitesse de l'écoulement du fluide est grande.

Les temps de parcours des signaux acoustiques se propageant dans le sens E-A-R correspondant à T^+ et R-A-E correspondant à T^- s'expriment ainsi :

$$T^+ = \left(\frac{2h}{\cos \theta} \right) \cdot \left(\frac{1}{C + V \sin \theta} \right)$$

20

$$T^- = \left(\frac{2h}{\cos \theta} \right) \cdot \left(\frac{1}{C - V \sin \theta} \right)$$

Avec :

C : célérité d'un signal acoustique (ou vitesse du son) dans le fluide aux conditions de température, pression et densité,

25 V : vitesse de l'écoulement du fluide,

h : distance entre les transducteurs électroacoustiques et la surface,

$\cos(\theta)$: fonction « cosinus de l'angle θ »,

$\sin(\theta)$: fonction « sinus de l'angle θ ».

« h » et « θ » sont prédéterminés, « V » est la vitesse de l'écoulement du fluide que l'anémomètre est amené *in fine* à déterminer.

30

La célérité C du signal acoustique pouvant varier en fonction des conditions de température, de pression ou densité du fluide, et étant connue la distance aller-retour R-A-E-A-R (fonction de l'angle « θ » et de la distance « h »), il est ainsi possible de déterminer la célérité du signal acoustique par une simple mesure du temps de trajet aller-retour R-A-E-A-R ($T^+ + T^-$) (ou délai de référence). Dit autrement, il est possible d'étalonner le dispositif électronique 200 par une mesure, dite mesure d'étalonnage, du temps de trajet aller-retour (ou délai de référence).

Avantageusement, le dispositif électronique 200 peut donc se passer d'éléments permettant une mesure de la température, pression ou densité du fluide. Cela réduit l'encombrement, le poids, la complexité du dispositif électronique 200. Cela augmente d'autant la fiabilité du dispositif électronique 200. En effet, l'opération d'étalonnage est fiabilisée car ne recourant pas à une ou plusieurs mesures de température, pression ou densité, laquelle ou lesquelles mesures pouvant être erronées. Le dispositif électronique 200 est ainsi adapté pour déterminer, en fonction de la distance « h », du délai de référence (ou temps de trajet aller-retour R-A-E-A-R) et de l'angle θ , une vitesse du signal acoustique (dit autrement, du son) « C » dite de référence dans le fluide. Ladite vitesse du son dans le fluide est appelée célérité « C ».

Il est à noter que le temps de trajet aller-retour R-A-E-A-R est égal au temps de trajet aller-retour E-A-R-A-E, l'influence de l'écoulement du fluide étant *in fine* neutre dans les deux cas.

La célérité C peut s'exprimer ainsi :

$$c = \frac{h}{\cos\theta} \left(\frac{1}{T^-} + \frac{1}{T^+} \right)$$

Avec :

C : célérité d'un signal acoustique (ou vitesse du son) dans le fluide aux conditions de température, pression et densité,

h : distance entre les transducteurs électroacoustiques et la surface,

T^+ : temps du trajet aller E-A-R,

T^- : temps du trajet retour R-A-E,

$\cos(\theta)$: fonction « cosinus de l'angle θ ».

h et θ sont prédéterminés.

Avantageusement la distance « h » est prédéterminée afin de réduire l'encombrement du dispositif électronique 200.

Avantageusement, la célérité « C » du signal acoustique peut être rapidement et aisément déterminée, et ainsi être mise à jour, lorsque les conditions de températures, pression et/ou densité évoluent.

5 Selon un mode de réalisation de l'invention, le dispositif électronique 200 exécute périodiquement une mesure d'étalonnage (par exemple toutes les 10 millisecondes) et enregistre ainsi dans une mémoire une valeur de C régulièrement mise à jour.

10 Selon un mode de réalisation alternatif de l'invention, la mise en place optionnelle d'un troisième transducteur électroacoustique 209 à incidence normale avec l'axe de l'écoulement du fluide, permet une détermination instantanée de la célérité « C » dans le milieu aux conditions réelles de température, humidité et pression. Le trajet de l'onde acoustique émise par le troisième transducteur électroacoustique 209 étant orthogonal à la direction de l'écoulement, la vitesse mesurée est ainsi indépendante de la vitesse du fluide en mouvement.

15 Le dispositif électronique 200 est adapté pour émettre un signal acoustique via le transducteur acoustique E. Ce signal est reçu par le transducteur électroacoustique R après une première réflexion sur la surface 203 (point A). Arrivé au transducteur électroacoustique R, ce signal acoustique est réfléchi par la surface du transducteur électroacoustique R et fait le trajet inverse R-A-E vers le transducteur électroacoustique E via une réflexion sur la surface 203. La durée de ce trajet est la durée T précédemment
20 définie. Arrivé au transducteur électroacoustique E, ce signal est réfléchi par la surface du transducteur électroacoustique E et fait, de nouveau, le trajet inverse E-A-R vers le transducteur électroacoustique R via une réflexion sur la surface 203. La durée de ce trajet est la durée T⁺ précédemment définie. Autrement dit, après une émission du signal acoustique par le transducteur électroacoustique E et sa réception par le transducteur
25 électroacoustique R, le système d'acquisition observe un aller-retour R-A-E-A-R et contrôle les temps d'arrivée du signal acoustique au transducteur électroacoustique R, puis au transducteur électroacoustique E et de nouveau au transducteur électroacoustique R. Autrement dit, après émission du signal acoustique à partir du transducteur électroacoustique E, le dispositif électronique 200 détermine la mesure dès
30 l'arrivée du signal acoustique sur le transducteur électroacoustique R (instant « t₁ »), ensuite le dispositif électronique 200 détermine le temps d'arrivée du signal acoustique réfléchi sur le transducteur électroacoustique E (l'instant « t₂ ») et finalement le dispositif électronique 200 détermine le temps d'arrivée du signal acoustique, à nouveau réfléchi, sur le transducteur électroacoustique R (instant « t₃ »). La durée du trajet R-A-

E est « $T^- = t_2 - t_1$ » et la durée du trajet E-A-R est « $T^+ = t_3 - t_2$ ». Le dispositif électronique 200 est ainsi adapté pour déterminer la vitesse du son de référence C, et la vitesse d'écoulement du fluide en fonction des temps de trajet T^+ et T^- .

Pour cela, le dispositif électronique 200 peut mettre en œuvre l'un ou l'autre des
5 procédés suivants :

- (A) mesure de la vitesse d'écoulement du fluide par mesure d'un temps de parcours d'un signal acoustique,
- (B) mesure de la vitesse d'écoulement du fluide par mesure d'un effet Doppler,
- (C) mesure de la vitesse d'écoulement du fluide par mesure d'une fréquence de
10 battements.

Cas du procédé (A) : mesure d'un temps de parcours

Les temps de parcours T^+ correspondant à un trajet E-A-R et T^- correspondant à un trajet R-A-E peuvent s'exprimer ainsi :

$$15 \quad T^+ = \left(\frac{2h}{\cos \theta} \right) \cdot \left(\frac{1}{C + V \sin \theta} \right)$$

$$T^- = \left(\frac{2h}{\cos \theta} \right) \cdot \left(\frac{1}{C - V \sin \theta} \right)$$

Avec :

T^+/T^- : temps de parcours d'un trajet aller E-A-R/R-A-E, ces temps de parcours sont mesurés par le dispositif électronique 200,

- 20 h : distance entre les transducteurs électroacoustiques (E et R) et la surface 203,
- cos(θ) : fonction « cosinus de l'angle θ »,
- sin(θ) : fonction « sinus de l'angle θ »,

C : célérité du son dans le fluide, la célérité est déterminée lors d'une mesure d'étalonnage comme expliqué précédemment,

- 25 V : vitesse de l'écoulement du fluide (ou du moins, sa composante selon la direction de mesure définie par la flèche 208 dans la Fig. 2). La vitesse « V » ainsi déterminée est une grandeur algébrique positive ou négative selon le sens de l'écoulement.

Tous les paramètres étant connus à l'exception de « V », vitesse de l'écoulement
30 du fluide, il est donc possible de déterminer la vitesse « V » d'écoulement du fluide à partir d'une mesure des temps de parcours T^+ et T^- .

La vitesse de l'écoulement « V » est alors déduite comme suit :

$$v = \frac{2h}{\sin(2\theta)} \left(\frac{1}{T^+} - \frac{1}{T^-} \right)$$

Avantageusement, le deuxième signal acoustique est un signal dit de type « chirp », émis selon une méthode de compression d'impulsion.

La méthode de compression d'impulsion repose sur un principe de modulation linéaire de fréquence. Elle permet d'améliorer le Rapport Signal sur Bruit (RSB, ou SNR pour « *signal to noise ratio* » en anglais) lors de mesures échographiques en établissant une reconnaissance d'un motif fréquentiel (ou « *pattern* » en anglais) du signal acoustique dans le temps. Cependant, les performances de cette technique se dégradent notablement dans le cas d'une propagation qui affecte ce contenu fréquentiel (dispersion, effet Doppler). En l'occurrence, les impulsions envoyées par le transducteur électroacoustique E 201 peuvent être des « Chirp » dans la bande fréquentielle de 250 kHz à 650 kHz. Subissant un effet Doppler provoqué par un écoulement d'un fluide, ces impulsions « chirp » ont un contenu fréquentiel après propagation modifié. Ainsi, par exemple, dans un écoulement d'un fluide à Mach 0.8 (c'est-à-dire à 0.8 fois la vitesse du son dans l'air), le contenu fréquentiel du motif fréquentiel de 250 kHz à 650 kHz est modifié et est décalé dans une bande fréquentielle de 180 kHz à 460 kHz. De plus, toujours sous l'effet de l'écoulement du fluide, la durée du motif fréquentiel change. Ainsi, le maximum d'une fonction d'intercorrélation entre le signal acoustique émis et un signal acoustique reçu baisse d'un facteur de 40 dB, ce qui rend plus compliqué la détection d'une impulsion réfléchie lorsqu'un fluide s'écoule à haute vitesse.

Afin de corriger cette possible imprécision, et selon un mode de réalisation complémentaire de l'invention, il est possible d'implémenter un algorithme considérant tout d'abord une valeur initiale « C_0 » de la vitesse du son égale à « $C_0=340$ m/s » dans le milieu. Cette valeur initiale de vitesse du son, combinée au décalage fréquentiel mesuré par effet Doppler permet alors de déterminer une première valeur V_0 de la vitesse de l'écoulement. Ces deux données (C_0 et V_0) sont par la suite utilisées pour corriger les bandes de fréquence reçues par la méthode de compression d'impulsion. Cette dernière permet d'extraire T^+ et T^- et de remonter ainsi à une estimation plus précise. Il est ainsi possible de déterminer un deuxième jeu de valeurs C_1 et V_1 à partir de C_0 et V_0 . Si l'écart entre la valeur initiale C_0 et la valeur affinée C_1 dépasse un seuil prédéterminé (par exemple un pour cent), on réinjecte comme nouvelle valeur initiale de la vitesse la valeur C_1 et la procédure est réitérée « n » fois jusqu'à ce que la

différence entre les vitesses C_n et C_{n-1} soit inférieure au seuil prédéterminé. Autrement dit, partant d'une valeur approximative de la vitesse du son dans le milieu, des boucles d'itération vont affiner cette mesure de vitesse en estimant dans un premier temps la vitesse d'écoulement :

$$5 \quad V_0 = (C_0 / \sin(\theta)) \cdot (f_d - f_e) / f_d,$$

f_d et f_e étant décrits ci-après dans la description du cas B.

Cette vitesse d'écoulement servira ensuite à estimer les changements de l'intervalle de fréquence du chirp ainsi que sa durée et donc d'en améliorer la résolution. A la n -ième itération, le chirp fournit une nouvelle estimation plus fiable de la vitesse de l'écoulement V (notée V_n) et de la vitesse du son dans le milieu C (notée C_n). Si la valeur de C_n s'écarte significativement (c'est-à-dire de plus d'un certain pourcentage prédéterminé, par exemple un pour cent) de la valeur C_{n-1} la boucle est relancée à partir des nouvelles valeurs de C_n et V_n .

Le signal acoustique est ainsi avantageusement un signal de type chirp linéaire en fréquence sur une gamme de fréquence de 250 kHz à 650 kHz. Le dispositif électronique 200 peut alors déterminer une intercorrélacion entre le signal acoustique émis par le transducteur électroacoustique E et les signaux réfléchis reçus par les transducteurs électroacoustiques E et R afin d'obtenir une mesure précise du temps de trajet T^+ correspondant aller E-A-R et du temps de trajet T^- correspondant aller R-A-E.

20 Cas du procédé (B) : mesure de la vitesse d'écoulement du fluide par mesure d'un effet Doppler

Pour ce procédé (B), le signal acoustique émis par le transducteur acoustique E est avantageusement un signal harmonique mono-fréquentiel avec une enveloppe gaussienne. Selon le type de transducteur électroacoustique utilisé, une fréquence optimale peut être 380 kHz.

Le procédé (B) utilise l'effet Doppler affectant le signal acoustique lors de son trajet aller E-A-R. En effet, plus la vitesse de l'écoulement du fluide est grande, plus un décalage en fréquence - vers les basses fréquences pour un écoulement de la gauche vers la droite - existe entre le signal acoustique émis par le transducteur électroacoustique E et le signal acoustique reçu par le transducteur électroacoustique R.

Le dispositif électronique 200 est ainsi adapté pour déterminer, en fonction de la vitesse du son de référence précédemment déterminée (la célérité C), du signal acoustique (émis par le transducteur électroacoustique E) et du signal acoustique

réfléchi (reçu par le transducteur électroacoustique R après une réflexion sur la surface 203), la vitesse d'écoulement V du fluide selon la formule :

$$V = \frac{C}{\sin(\theta)} \cdot \frac{(fd - fe)}{fd}$$

5

Avec :

f_e : fréquence du signal acoustique mono-fréquentiel émis par le transducteur électroacoustique E, possiblement déterminée par une transformée de Fourier rapide (FFT) du signal acoustique émis,

10 f_d : fréquence du signal mono-fréquentiel reçu par le transducteur électroacoustique R, possiblement déterminée par une transformée de Fourier rapide (FFT) du signal acoustique reçu,

$\sin(\theta)$: fonction « sinus de l'angle θ »,

C : célérité du son dans le fluide, la célérité est déterminée lors d'une mesure
15 d'étalonnage comme expliqué précédemment,

V : vitesse de l'écoulement du fluide (ou du moins, sa composante selon la direction de mesure définie par la flèche dans la Fig. 2).

Selon le mode de réalisation de l'invention, la valeur de la célérité C utilisée dans ce procédé B peut être déterminée soit en utilisant le procédé A décrit précédemment,
20 soit à l'aide du troisième transducteur électroacoustique 209 disposé perpendiculairement au sens d'écoulement du fluide.

Cas du procédé (C) : mesure de la vitesse d'écoulement du fluide par mesure d'une fréquence de battements

Pour ce procédé (C), le signal acoustique est avantageusement un signal
25 acoustique harmonique mono-fréquentiel. Il s'agit d'un signal acoustique intermittent dit « burst » qui consiste en un train d'impulsions sinusoïdales (typiquement 700 impulsions). Selon le type de transducteur électroacoustique utilisé, une fréquence optimale peut être 380 kHz.

Le dispositif électronique 200 est ainsi adapté pour déterminer, en fonction de la
30 vitesse du son de référence précédemment déterminée (la célérité C), du deuxième signal acoustique (émis par le transducteur électroacoustique E) et du signal acoustique réfléchi (reçu par le transducteur électroacoustique R après une réflexion sur la surface 203), la vitesse d'écoulement du fluide en réalisant une sommation de deuxième signal acoustique et du signal acoustique reçu. La sommation de ces deux signaux acoustiques

(du moins, leurs représentations électriques utilisées par le module de contrôle 205) fait apparaître un signal modulé en amplitude (ou battement). La mesure de la fréquence de modulation permet d'en déduire une différence de fréquence, et conséquemment une vitesse de l'écoulement du fluide.

- 5 Selon le mode de réalisation de l'invention, la valeur de la célérité C utilisée dans ce procédé C peut être déterminée soit en utilisant le procédé A décrit précédemment, soit à l'aide du troisième transducteur électroacoustique 209 disposé perpendiculairement au sens d'écoulement du fluide.

- 10 Avantageusement, le dispositif électronique 200 est adapté pour exécuter l'un ou l'autre des procédés (A), (B) ou (C) afin de déterminer la vitesse de l'écoulement du fluide. Avantageusement, le dispositif électronique 200 peut exécuter chaque procédé (A), (B) ou (C) périodiquement afin d'obtenir une mesure de la vitesse de l'écoulement du fluide par des procédés différents. Avantageusement, la fiabilité du dispositif électronique 200 est ainsi renforcée. En effet, il se peut que selon les conditions
15 d'utilisation du dispositif électronique 200 l'un ou l'autre des procédés (A), (B) ou (C) donne un résultat erroné. Disposer de mesures provenant de trois procédés différents permet donc l'élimination d'une mesure qui paraîtrait incohérente par rapport aux deux autres mesures.

- 20 Avantageusement, pour une mise en œuvre de l'invention permettant des mesures de vitesses jusqu'à plus de 84 m/s, les transducteurs électroacoustiques E et R sont des capteurs ultrasoniques sans contact (ou NCU pour « *Non Contact Ultrasonic* » en anglais) fonctionnant dans une gamme de fréquence de 250 kHz à 650 kHz, par exemple aux alentours de 400 kHz.

- 25 Avantageusement, ces capteurs ultrasoniques disposent d'une large gamme fréquentielle, ce qui autorise une mise en œuvre efficace des procédés de mesure (A), (B) et (C).

- 30 Avantageusement, le transducteur électroacoustique E et/ou R est dit « à couplage aérien ». Le transducteur électroacoustique E et/ou R comprend alors un traitement surface (par exemple une couche de polymère) devant le transducteur, ledit traitement de surface permettant une adaptation d'impédance acoustique entre le transducteur électroacoustique et le fluide.

Le fluide considéré peut être un fluide dit « léger », c'est-à-dire un gaz, ou bien un fluide dit « lourd », c'est-à-dire un liquide. Dans le cas d'une utilisation du dispositif électronique en tant qu'anémomètre pour un aéronef, le fluide considéré est de l'air.

La **Fig. 3** illustre schématiquement une architecture matérielle d'un dispositif électronique 300 adapté pour mesurer une vitesse d'écoulement d'un fluide selon un mode de réalisation de l'invention. Le dispositif électronique 300 est typiquement le dispositif électronique 200 de la Fig. 2.

5 Le module 301 est un transducteur de type NCU opérant à une fréquence de travail de 400 kHz. Le module 301 permet une conversion d'un signal acoustique en entrée (non représentée) vers un signal électrique, lequel signal électrique étant transmis aux modules 302 et suivants pour traitement.

10 Le module 302 est un amplificateur de charge permettant une adaptation d'impédance entre le transducteur (module 301) et le module 303.

 Le module 303 est un filtre passe-haut. Le module 303 est typiquement un filtre passe-haut passif du 4^e ordre avec une fréquence de coupure autour de 10 kHz. Ce module 303 permet de filtrer les fréquences perturbatrices basses-fréquences engendrées par l'écoulement du fluide. En effet, l'écoulement engendre des pressions
15 acoustiques de basses fréquences.

 Le module 304 est un filtre passe-bas. Le module 304 est typiquement un filtre anti-aliasing à 2.5 MHz.

 Le module 305 est un amplificateur. Le signal électrique est typiquement amplifié afin d'adapter l'amplitude du signal électrique au module de conversion analogique-numérique 306 suivant. L'amplification est typiquement de 20 dB.
20

 Le module 306 est un module d'acquisition, permettant une conversion du signal électrique analogique en un signal numérique. Le module d'acquisition permet typiquement un échantillonnage sur 16 bits à 5 MS/s.

25 La **Fig. 4** illustre schématiquement une architecture matérielle d'un dispositif électronique 400 adapté pour mesurer une vitesse d'écoulement d'un fluide selon un mode de réalisation alternatif de l'invention.

 Le dispositif électronique 400 correspond par exemple au dispositif électronique 200 de la Fig. 2.

30 Le dispositif électronique 400 comporte, reliés par un bus de communication : un processeur ou CPU (« *Central Processing Unit* » en anglais) 401 ; une mémoire MEM 402 de type RAM (« *Random Access Memory* » en anglais) et/ou ROM (« *Read Only Memory* » en anglais), un module réseau NET 403, un module de stockage STCK 404 de type stockage interne. Le module de stockage STCK 404 peut être de type disque dur HDD (« *Hard Disk Drive* » en anglais) ou SSD (« *Solid-State Drive* » en anglais),

ou de type lecteur de support de stockage externe, tel un lecteur de cartes SD (« *Secure Digital* » en anglais). Le processeur CPU 401 peut enregistrer des données, ou informations, dans la mémoire MEM 402 ou dans le module de stockage STCK 404. Le processeur CPU 401 peut lire des données enregistrées dans la mémoire MEM 402, dans le module de stockage STCK 404 ou encore dans une base de données. Ces données peuvent correspondre à des paramètres de configuration. Le module réseau NET 303 permet la connexion du dispositif électronique 400 à un réseau de communication, par exemple à un réseau d'un système embarqué d'un aéronef. Le module réseau NET 403 permet au dispositif électronique 400 d'envoyer, respectivement de recevoir, des messages à destination de, respectivement en provenance de un ou plusieurs équipements d'un système avionique.

Le processeur CPU 401 est capable d'exécuter des instructions chargées dans la mémoire MEM 402, par exemple à partir du module de stockage STCK 404 ou d'un réseau de communication via le module réseau NET 403. Lorsque le dispositif électronique 400 est mis sous tension, le processeur CPU 401 est capable de lire de la mémoire MEM 402 des instructions et de les exécuter. Ces instructions forment un programme d'ordinateur causant la mise en œuvre, par le processeur CPU 401, de tout ou partie des procédés et étapes décrits ci-avant, particulièrement dans la description de la Fig. 2. Ces instructions peuvent correspondre au procédé d'étalonnage et/ou au procédé (A), (B) et/ou (C) précédemment décrits. Ainsi, tout ou partie des procédés et étapes décrits ci-avant peut être implémenté sous forme logicielle par exécution d'un ensemble d'instructions par une machine programmable, telle qu'un DSP (« *Digital Signal Processor* » en anglais) ou un microcontrôleur. Tout ou partie des procédés et étapes décrits ici peuvent aussi être implémentés sous forme matérielle par une machine ou un composant dédié, tel qu'un FPGA (« *Field-Programmable Gate Array* » en anglais) ou un ASIC (« *Application-Specific Integrated Circuit* » en anglais).

Avantageusement, le dispositif électronique 200, 300, 400 comprend un système de fixation pour fixer ledit dispositif électronique à un fuselage d'un aéronef.

REVENDICATIONS

1) Dispositif électronique (200) de mesure d'une vitesse d'écoulement (V) d'un fluide, le dispositif électronique comprenant :

- 5 - un premier transducteur électroacoustique (E), adapté pour émettre et/ou recevoir un signal acoustique selon un premier axe central,
 - un deuxième transducteur électroacoustique (R), adapté pour émettre et/ou recevoir un signal acoustique selon un deuxième axe central, le premier axe central et le deuxième axe central définissant de façon
10 unique un plan parallèle à la direction de l'écoulement du fluide à mesurer,
 - une surface (203) adaptée pour réfléchir un signal acoustique, la surface étant disposée à un point d'intersection (A) du premier axe central et du deuxième axe central, chaque axe formant un même angle
15 (θ) avec la droite orthogonale à la surface passant par le point d'intersection, chaque transducteur électroacoustique étant situé à une même distance (h) de la surface,
 - un module de contrôle (205) des transducteurs électroacoustiques,
- le dispositif électronique étant adapté pour permettre un écoulement libre du
20 fluide entre la surface et les deux transducteurs électroacoustiques,
le dispositif électronique étant adapté pour :
- émettre, via le premier transducteur électroacoustique, un premier signal acoustique,
 - recevoir, via le premier ou le deuxième transducteur
25 électroacoustique, un deuxième signal acoustique correspondant à une ou plusieurs réflexions du premier signal acoustique,
 - déterminer, en fonction de la distance (h), de l'angle (θ), du premier signal acoustique émis et du deuxième signal acoustique reçu une
 vitesse d'écoulement du fluide.

30

2) Dispositif électronique selon la précédente revendication, chaque transducteur électroacoustique étant un capteur ultrasonique sans contact opérant dans une gamme de fréquence de 250 kHz à 650 kHz.

3) Dispositif électronique selon la précédente revendication, le dispositif électronique étant adapté pour :

- déterminer un premier temps de trajet dit aller (T^+) d'un signal acoustique entre le premier transducteur électroacoustique et le deuxième transducteur électroacoustique via une réflexion sur la surface,
- déterminer un deuxième temps de trajet dit retour (T^-) d'un signal acoustique entre le deuxième transducteur électroacoustique et le premier transducteur électroacoustique via une réflexion sur la surface,
- déterminer une vitesse (V) de l'écoulement du fluide selon la formule :

$$V = \frac{2h}{\sin(2\theta)} \left(\frac{1}{T^+} - \frac{1}{T^-} \right)$$

4) Dispositif électronique selon la précédente revendication, le dispositif électronique étant adapté pour déterminer la célérité (C) du son dans le fluide selon la formule :

$$C = \frac{h}{\cos\theta} \left(\frac{1}{T^-} + \frac{1}{T^+} \right)$$

5) Dispositif électronique selon l'une des revendications précédentes, le dispositif électronique comprenant un troisième transducteur électroacoustique (209) disposé perpendiculairement au sens d'écoulement du fluide, le dispositif électronique étant adapté pour déterminer la célérité (C) du son dans le fluide au moyen de ce troisième transducteur électroacoustique.

6) Dispositif électronique selon l'une des revendications précédentes, le premier signal acoustique émis étant un signal acoustique harmonique mono-fréquentiel avec une enveloppe gaussienne, associé à une première fréquence (f_e), le deuxième signal acoustique, correspondant au premier signal acoustique réfléchi, étant reçu par le deuxième transducteur électroacoustique et étant associé à une deuxième fréquence (f_d), le dispositif électronique étant adapté pour déterminer la vitesse de l'écoulement du fluide (V) selon la formule :

$$V = \frac{C}{\sin(\theta)} \cdot \frac{(f_d - f_e)}{f_d}$$

7) Dispositif électronique selon l'une des revendications précédentes, le premier signal acoustique émis par le premier transducteur électroacoustique étant un signal
5 acoustique intermittent dit « burst » consistant en un train d'impulsions sinusoïdales, le dispositif électronique étant adapté pour :

- réaliser une sommation du premier signal acoustique et du deuxième signal acoustique correspondant au signal acoustique reçu par le deuxième transducteur acoustique, la sommation déterminant un
10 signal dit de battement,
- déterminer une mesure de la fréquence de modulation du signal de battement,
- déterminer une vitesse d'écoulement du fluide en fonction de la mesure de la fréquence de modulation du signal de battement.

15

8) Dispositif électronique (200) de mesure d'une vitesse d'écoulement d'un fluide, le dispositif électronique étant adapté pour déterminer la vitesse d'écoulement d'un fluide selon l'une ou plusieurs des revendications 3, 6 et 7.

20 9) Procédé de détermination de la vitesse d'écoulement d'un fluide, le procédé étant exécuté par un dispositif électronique (200) selon l'une des revendications 1 à 8, le procédé comprenant les étapes de :

- émettre, via le premier transducteur électroacoustique, un premier signal acoustique,
- 25 - recevoir, via le premier ou le deuxième transducteur électroacoustique, un deuxième signal acoustique correspondant à une ou plusieurs réflexions du premier signal acoustique,
- déterminer, en fonction de la distance (h), de l'angle (θ), du premier signal acoustique émis et du deuxième signal acoustique reçu une
30 vitesse d'écoulement du fluide.

10) Programme d'ordinateur, caractérisé en ce qu'il comprend des instructions pour mettre en œuvre, par un processeur (401) d'un dispositif électronique (200) selon l'une des revendications 1 à 8, un procédé de détermination d'une vitesse

d'écoulement d'un fluide selon la revendication 9, lorsque le programme d'ordinateur est exécuté par le processeur.

- 11) Support d'enregistrement, lisible par un dispositif électronique (200)
- 5 selon l'une des revendications 1 à 8, sur lequel est stocké le programme d'ordinateur selon la revendication précédente.

1/2

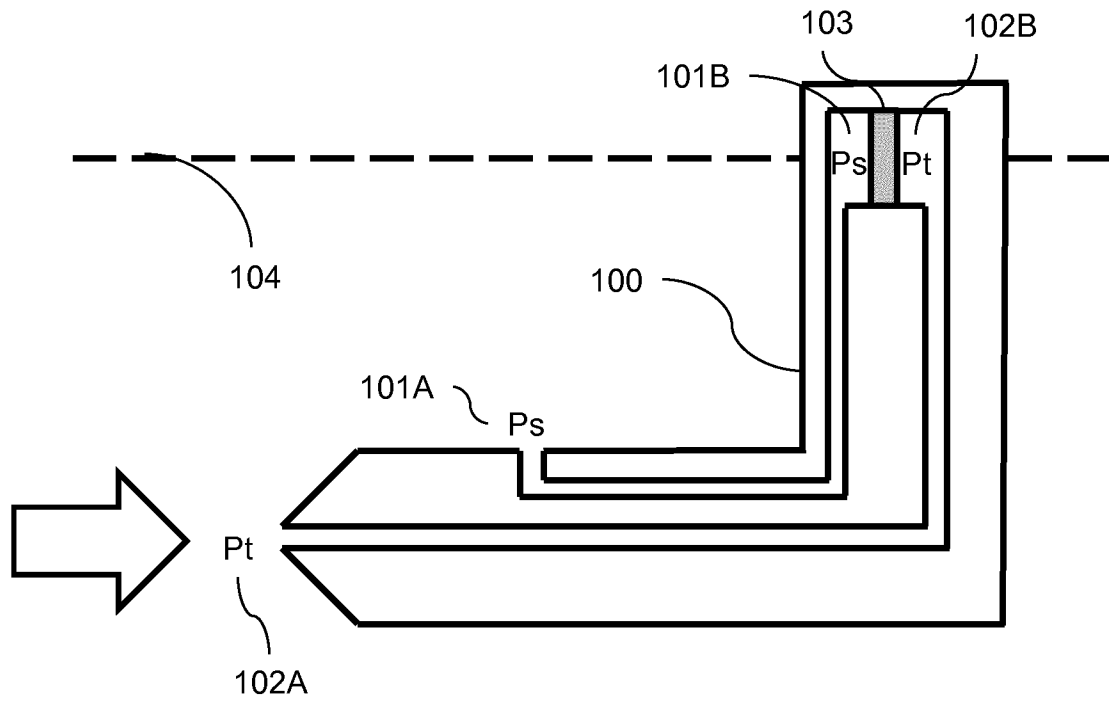


Fig. 1
(art antérieur)

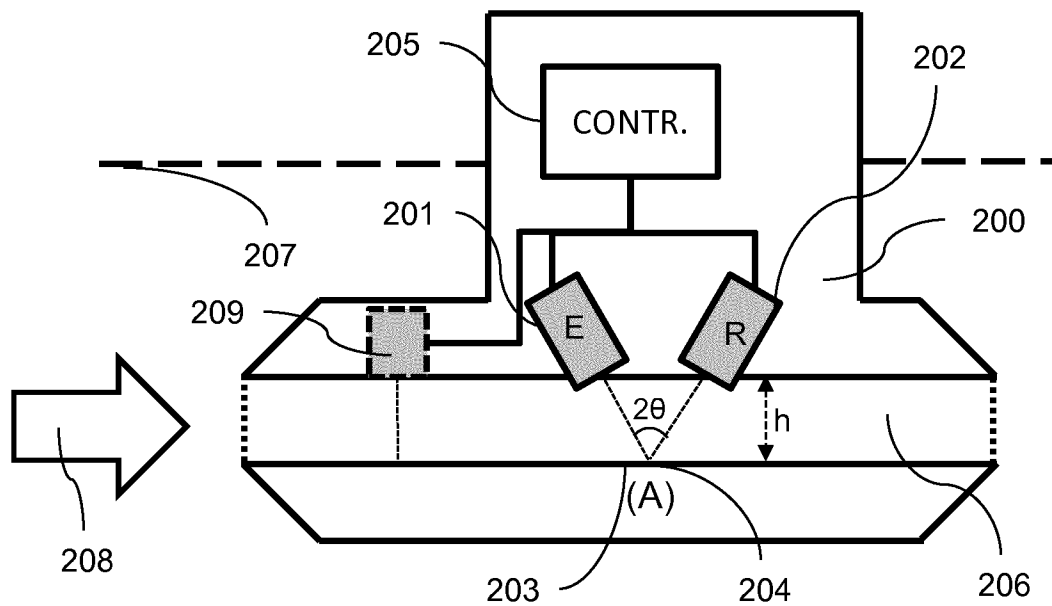


Fig. 2

2/2

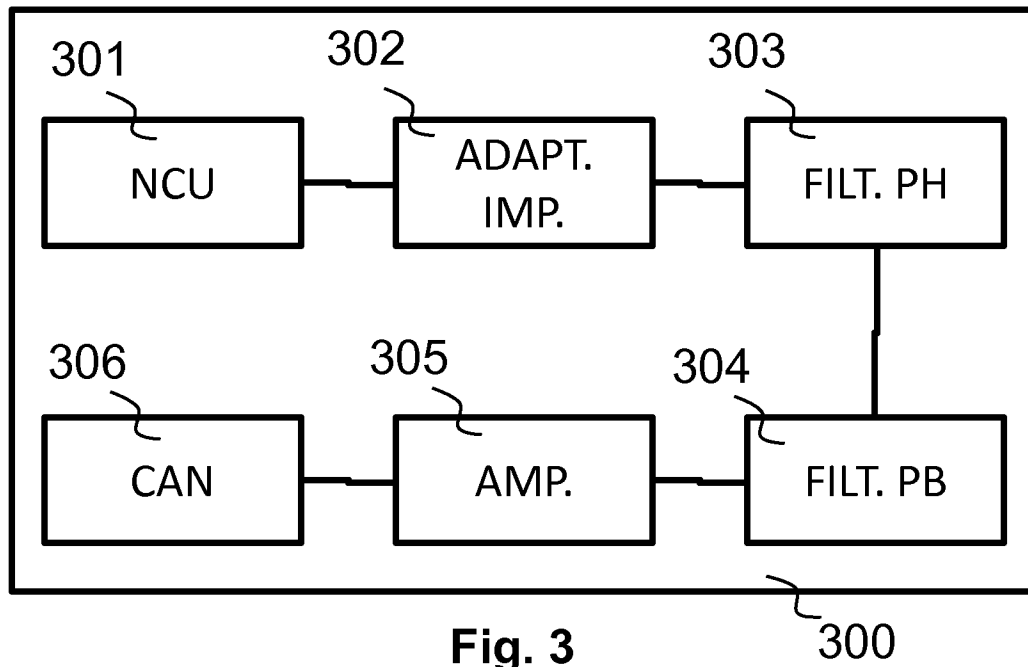


Fig. 3

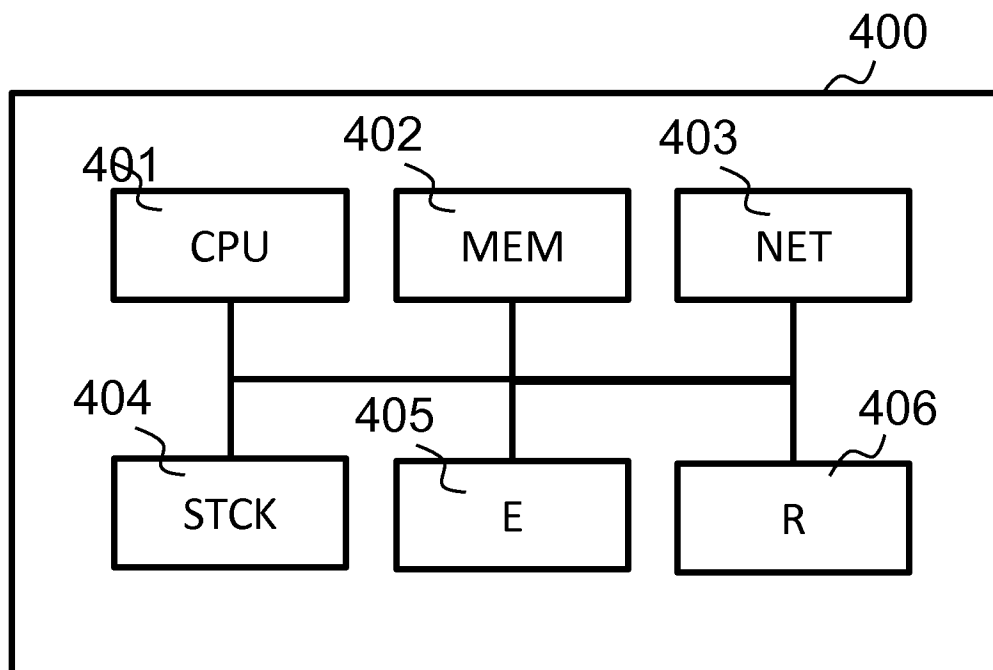


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/060218

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01P 5/24**(2006.01)i; **G01F 1/66**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01P; G01F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	US 2014130606 A1 (SCHWARZ DARREN SCOTT [US]) 15 May 2014 (2014-05-15) paragraph [0030] paragraphs [0034] - [0037] figure 6	1-4,6,8-11 5,7
X	DE 2936909 A1 (FUJI ELECTRIC CO LTD) 27 March 1980 (1980-03-27) page 8, line 6 - line 20 figures 2,3	1-3,8-11
X	DE 102007030071 B3 (CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 06 November 2008 (2008-11-06) paragraph [0017] - paragraph [0021] figure 1	1-3,8-11
X	FR 2472755 A1 (PANAMETRICS [US]) 03 July 1981 (1981-07-03) page 1, line 32 - line 37 claim 1 figure 1	1-3,8-11

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

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 June 2019

Date of mailing of the international search report

25 June 2019

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Rabenstein, Winfried

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/060218**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 6487916 B1 (GOMM TYLER J [US] ET AL) 03 December 2002 (2002-12-03) column 5, line 14 - line 50 figure 1	5
Y	US 4333353 A (BAUMOEL JOSEPH) 08 June 1982 (1982-06-08) column 1, line 5 - line 55	7
A	JP S57108625 A (HOKUSHIN ELECTRIC WORKS) 06 July 1982 (1982-07-06) abstract	6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/060218

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)
US	2014130606	A1	15 May 2014	BR	112015011008	A2 26 June 2018
				CA	2893281	A1 22 May 2014
				CN	103808379	A 21 May 2014
				CN	203672423	U 25 June 2014
				EP	2920556	A1 23 September 2015
				MX	362157	B 07 January 2019
				US	2014130606	A1 15 May 2014
				US	2015114135	A1 30 April 2015
				WO	2014078224	A1 22 May 2014
DE	2936909	A1	27 March 1980	NONE		
DE	102007030071	B3	06 November 2008	DE	102007030071	B3 06 November 2008
				WO	2009003764	A1 08 January 2009
FR	2472755	A1	03 July 1981	CA	1157935	A 29 November 1983
				DE	3039272	A1 07 May 1981
				FR	2472755	A1 03 July 1981
				GB	2061510	A 13 May 1981
				JP	S5693013	A 28 July 1981
				US	4308754	A 05 January 1982
US	6487916	B1	03 December 2002	NONE		
US	4333353	A	08 June 1982	NONE		
JP	S57108625	A	06 July 1982	NONE		

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2019/060218

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01P5/24 G01F1/66 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G01P G01F		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X Y	US 2014/130606 A1 (SCHWARZ DARREN SCOTT [US]) 15 mai 2014 (2014-05-15) alinéa [0030] alinéas [0034] - [0037] figure 6 -----	1-4,6, 8-11 5,7
X	DE 29 36 909 A1 (FUJI ELECTRIC CO LTD) 27 mars 1980 (1980-03-27) page 8, ligne 6 - ligne 20 figures 2,3 -----	1-3,8-11
X	DE 10 2007 030071 B3 (CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 6 novembre 2008 (2008-11-06) alinéa [0017] - alinéa [0021] figure 1 -----	1-3,8-11
----- -/-		
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 14 juin 2019		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 25/06/2019
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Rabenstein, Winfried

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	FR 2 472 755 A1 (PANAMETRICS [US]) 3 juillet 1981 (1981-07-03) page 1, ligne 32 - ligne 37 revendication 1 figure 1 -----	1-3,8-11
Y	US 6 487 916 B1 (GOMM TYLER J [US] ET AL) 3 décembre 2002 (2002-12-03) colonne 5, ligne 14 - ligne 50 figure 1 -----	5
Y	US 4 333 353 A (BAUMOEL JOSEPH) 8 juin 1982 (1982-06-08) colonne 1, ligne 5 - ligne 55 -----	7
A	JP S57 108625 A (HOKUSHIN ELECTRIC WORKS) 6 juillet 1982 (1982-07-06) abrégé -----	6

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2019/060218

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2014130606 A1	15-05-2014	BR 112015011008 A2 CA 2893281 A1 CN 103808379 A CN 203672423 U EP 2920556 A1 MX 362157 B US 2014130606 A1 US 2015114135 A1 WO 2014078224 A1	26-06-2018 22-05-2014 21-05-2014 25-06-2014 23-09-2015 07-01-2019 15-05-2014 30-04-2015 22-05-2014
DE 2936909 A1	27-03-1980	AUCUN	
DE 102007030071 B3	06-11-2008	DE 102007030071 B3 WO 2009003764 A1	06-11-2008 08-01-2009
FR 2472755 A1	03-07-1981	CA 1157935 A DE 3039272 A1 FR 2472755 A1 GB 2061510 A JP S5693013 A US 4308754 A	29-11-1983 07-05-1981 03-07-1981 13-05-1981 28-07-1981 05-01-1982
US 6487916 B1	03-12-2002	AUCUN	
US 4333353 A	08-06-1982	AUCUN	
JP S57108625 A	06-07-1982	AUCUN	