

⑤④ PROCÉDE POUR LA DÉTERMINATION DE PROPRIÉTÉS D'UN MILIEU ET DISPOSITIF
POUR LA DÉTERMINATION DE PROPRIÉTÉS D'UN MILIEU.

②② Date de dépôt : 02.02.16.

③③ Priorité : 16.02.15 DE 1020151022001.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 19.08.16 Bulletin 16/33.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 25.10.19 Bulletin 19/43.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥① Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *SENSACTION AG — DE.*

⑦② Inventeur(s) : RAUTENBERG JENS, BRAUN
RUDOLF, STARK ACHIM et KRUEGER STEFAN.

⑦③ Titulaire(s) : SENSATION AG.

⑦④ Mandataire(s) : CABINET PLASSERAUD.



Procédé pour la détermination de propriétés d'un milieu et dispositif pour la détermination de propriétés d'un milieu

Description

5

La présente invention concerne un procédé pour la détermination de propriétés physiques et /ou chimiques d'un milieu à l'aide d'au moins une première et une deuxième onde acoustique, lesquelles se sont respectivement propagées au moins partiellement à travers le milieu à partir d'un émetteur vers un récepteur selon la
10 présente invention, ainsi qu'un dispositif pour la détermination de propriétés physiques et/ou chimiques d'un milieu selon la présente invention.

Le milieu dont les propriétés physiques et/ou chimiques doivent être déterminées par un procédé du genre est de préférence un liquide ou un matériau tendre, en
15 particulier un milieu hautement visqueux, semblable à une pâte ou pâteux. Concernant les ondes acoustiques utilisées pour la détermination des propriétés, il s'agit par exemple d'ondes ultrasonores qui sont générées par un émetteur correspondant grâce à un signal d'émission.

20 Dans un procédé du genre, on génère généralement deux ondes acoustiques grâce à un signal d'émission, lesquelles se propagent au moins partiellement à travers le milieu le long de directions de propagation identiques ou différentes avant d'être respectivement réceptionnées au niveau d'un récepteur situé dans la direction de propagation respective. Des ondes acoustiques sont par exemple générées dans un
25 milieu s'écoulant, d'une part dans une première direction de propagation en direction d'écoulement du milieu, et d'autre part dans une deuxième direction de propagation à l'encontre de la direction d'écoulement du milieu. A partir des signaux de réception générés au niveau de récepteurs respectifs, il est alors possible de déterminer une différence de temps de propagation et d'en déduire par exemple la
30 vitesse d'écoulement (moyenne) du milieu. Si l'on détermine encore, en variante ou additionnellement, des temps de propagation absolus d'une onde acoustique d'un émetteur vers un récepteur à l'aide des signaux de réception, il est possible d'obtenir d'autres conclusions sur des propriétés physiques et/ou chimiques du milieu, telles par exemple la densité, la température ou la composition.

35

- Le document WO 2008/034878 A2 a fait connaître un dispositif du genre, dans lequel des ondes acoustiques de surface sont générées, lesquelles couplent des ondes sonores volumiques dans le milieu respectif dans un guide d'ondes. Grâce au découplage répété d'ondes de surface à ceux des endroits où l'onde sonore
- 5 volumique touche une paroi délimitant le milieu, des ondes acoustiques de surface sont de nouveau réceptionnées au niveau d'un récepteur, dont les temps de propagation et différences de temps de propagation sont caractéristiques pour le milieu ainsi que les propriétés physiques et/ou chimiques de celui-ci.
- 10 Dans un dispositif décrit dans le document WO 2008/034878 A2, ainsi que le procédé mis en œuvre avec, le traitement des signaux de réception générés au niveau des récepteurs respectifs pour une onde acoustique réceptionnée – ici, une onde acoustique de surface – revêt ainsi une importance décisive. C'est ainsi que la
- 15 détermination d'une différence de temps de propagation ou d'un temps de propagation absolu à partir des signaux de réception générés au niveau du récepteur n'est en aucun cas triviale, et s'accompagne le cas échéant d'efforts importants de calcul. Selon les informations à extraire des signaux de réception, on utilise des procédés les plus variés pour le traitement des signaux. On connaît par
- 20 exemple le fait d'utiliser des signaux d'émission modulés afin de, grâce aux signaux de réception obtenus, pouvoir en déduire de manière plus fiable les propriétés du milieu. A cet effet, on utilise par exemple une modulation d'amplitude en quadrature, en bref : modulation IQ, avec laquelle, par rapport à des signaux d'émission non modulés, on peut aussi régulièrement parvenir à une amélioration nette de la
- 25 résolution pouvant être obtenue.
- D'autres procédés connus reposent généralement sur des signaux de réception échantillonnés et soumis à une conversion analogique vers numérique, des fonctions de corrélation, tout comme également des transformées de Hilbert et Wavelett, étant formées.
- 30 Dans le document DE 102 06 134 A1, on révèle par ailleurs un procédé pour la détermination d'une vitesse d'écoulement d'un milieu au moyen d'ondes ultrasonores, lequel doit être résistant par rapport à des perturbations, telles un bruit, lors du traitement du signal. Pour ce faire, des signaux de réception
- 35 analogiques générés sont numérisés, une corrélation croisée est effectuée, et une conversion de Hilbert est réalisée afin de calculer un rapport de phases entre des

ondes acoustiques réceptionnées et calculer une différence de temps à partir de cela. Un dispositif adapté pour cela afin de traiter les signaux de réception (dispositif de traitement de signaux) est par conséquent comparativement complexe et s'accompagne de coûts non négligeables.

5

Sur ces bases, le but de la présente invention consiste à mettre à disposition un procédé amélioré pour la détermination de propriétés physiques et/ou chimiques d'un milieu au moyen d'ondes acoustiques, lequel est amélioré concernant l'effort de calcul lors du traitement de signaux des signaux de réception, et lequel permet
10 en particulier une détermination particulièrement fiable et robuste ainsi que moins onéreuse d'une vitesse d'écoulement d'un milieu au moyen d'ondes acoustiques. Un dispositif pour la mise en œuvre de ce procédé doit en outre être mis à disposition.

15 Ce but est atteint avec le procédé selon la présente invention, tout comme avec le dispositif selon l'invention.

Les procédés présentés ci-dessous interviennent dans ce cas pour une détermination d'une différence de temps de propagation entre des ondes
20 acoustiques réceptionnées s'étant propagées le long de directions de propagation identiques et/ou différentes et une détermination d'un temps de propagation absolu d'une onde acoustique d'au moins un émetteur vers au moins un récepteur, dans lequel une onde acoustique s'est toujours au moins partiellement propagée à travers le milieu vers un récepteur. Dans ce cas, les deux procédés selon l'invention
25 peuvent bien entendu également être combinés entre eux sans aucun problème, de telle sorte qu'après la détermination d'un temps de propagation absolu par exemple et d'une distance connue entre l'émetteur et le récepteur, il est possible d'en déduire la vitesse du son des ondes acoustiques dans le milieu et qu'un facteur de proportionnalité est ainsi mis à disposition, lequel peut être utilisé, ensemble avec
30 une différence de temps de propagation, pour le calcul d'une vitesse (moyenne) d'écoulement du milieu en écoulement.

Les deux procédés partent respectivement du principe

- qu'au moins une première et une deuxième onde acoustique se sont propagées au moins partiellement d'un émetteur vers un récepteur à travers le milieu, et
- que les ondes acoustiques sont respectivement générées par un signal d'émission,
- que la première onde acoustique se propage à travers le milieu le long d'une première direction de propagation et que la deuxième onde acoustique se propage à travers le milieu le long d'une deuxième direction de propagation de préférence différente, par exemple opposée, à la première direction de propagation, et
- que, pour une première onde acoustique réceptionnée après sa propagation à travers le milieu le long de la première direction de propagation, un premier signal de réception est généré, et que pour une deuxième onde acoustique réceptionnée après sa propagation à travers le milieu le long de la deuxième direction de propagation, un deuxième signal de réception est généré.

On prévoit selon l'invention que, pour la détermination de la différence de temps de propagation des ondes acoustiques et/ou d'un temps de propagation absolu d'une onde acoustique d'un émetteur vers un récepteur, on utilise au total au moins quatre signaux de réception – deux premiers et deux deuxièmes signaux de réception, lesquels relèvent d'au moins deux signaux d'émission différents. Ces signaux d'émission présentent une fréquence de base sensiblement identique et un déphasage prescrit entre eux. C'est ainsi qu'en utilisant le signal d'émission identique – également le même dans une variante – on génère ainsi respectivement une première et une deuxième onde acoustique dans chaque direction de propagation, de sorte que pour chaque direction de propagation, il y a deux signaux de réception.

C'est ainsi qu'un signal d'émission est par exemple utilisé pour générer simultanément ou successivement deux ondes acoustiques se propageant dans le milieu le long de la première et de la deuxième direction de propagation, dans lequel, pour une onde acoustique se propageant le long de la première direction de propagation – par exemple en aval d'une direction d'écoulement d'un milieu s'écoulant – on génère un premier signal de réception, et pour une onde acoustique se propageant le long de la deuxième direction de propagation – vers l'amont - un deuxième signal de réception est généré. Un autre signal d'émission à décalage de

phase avec une fréquence de base identique est alors utilisé selon l'invention pour générer deux autres ondes acoustiques se propageant dans le milieu le long de la première et de la deuxième direction de propagation, dans lequel, dans ce cas également, pour une onde acoustique se propageant le long de la première direction de propagation – vers l'aval – un autre premier signal de réception qui en diffère est généré, et pour une onde acoustique se propageant le long de la deuxième direction de propagation – vers l'amont – un autre deuxième signal de réception qui en diffère est généré.

10 Dans ce cas, pour la génération des deux ondes acoustiques, un signal d'émission peut être émis par deux émetteurs différents espacés spatialement l'un de l'autre. En variante, il est en principe également envisageable qu'un seul émetteur situé entre deux récepteurs déclenche tout d'abord, avec un signal d'émission ou avec deux signaux d'émission identiques, deux ondes acoustiques en direction des deux
15 récepteurs et déclenche ensuite, avec un signal d'émission à fréquence de base identique avec un décalage de phase par rapport au signal d'émission précédemment envoyé ou avec deux signaux d'émission à décalage de phase par rapport au signal d'émission précédemment envoyé, deux autres ondes acoustiques en direction des récepteurs. La seule chose qui importe est de générer une paire de
20 signaux de réception dans chaque direction de propagation, lesquels relèvent de deux signaux d'émission à décalage de phase l'un par rapport à l'autre avec une fréquence de base identique.

On entend ici par signaux d'émission à fréquence de base sensiblement identique, des signaux d'émission qui divergent l'un de l'autre concernant leur fréquence de
25 base d'un maximum de 1/1000 par rapport à une fréquence centrale.

L'idée de base de la présente invention consiste dans ce cas, à partir des quatre signaux de réception dans leur ensemble, lesquels relèvent de deux signaux d'émission différents à fréquence de base identique et déphasage prescrit entre
30 eux, grâce à une utilisation minimale en matériel lors du traitement des signaux, de manière rapide et avec une incertitude de mesure comparativement faible, à déterminer une différence de temps de propagation et/ou un temps de propagation absolu, et à déterminer après cela des propriétés physiques et/ou chimiques du milieu. C'est ainsi qu'avec la présente invention, grâce à l'utilisation selon l'invention de deux signaux d'émission différents, aucune génération onéreuse de signaux de
35

différence ou de synchronisation des signaux d'émission et de réception n'est nécessaire. Il n'est pas non plus nécessaire de prévoir un traitement numérique onéreux des signaux, étant donné qu'en particulier pour une numérisation éventuelle de signaux de réception ou d'une numérisation éventuelle de signaux qui en résultent, il est possible de renoncer à la transformation de Fourier qui est sinon régulièrement avantageuse.

De manière avantageuse, les quatre signaux de réception analogiques ou numérisés sont ici directement pris en compte dans un calcul, à savoir, en particulier en tant que paramètres dans une équation de calcul mise en œuvre par un dispositif de traitement de signaux, afin de calculer une différence de temps de propagation et/ou un temps de propagation absolu. Par conséquent, on ne réalise par exemple pas une simple moyenne de différences de temps de propagation déjà calculées avec une paire de signaux de réception. Dans une variante de réalisation respectivement préférée, chacun des signaux de réception entre plutôt directement dans une règle de calcul pour une différence de temps de propagation et/ou une règle de calcul pour un temps de propagation absolu, de sorte qu'un calcul peut seulement avoir lieu en cas de présence de l'ensemble des quatre signaux de réception.

Pour le calcul d'une différence de temps de propagation, on prévoit par exemple que des signaux de réception pour des ondes acoustiques réceptionnées, lesquelles ont été générées par des signaux d'émission différents, soient multipliés entre eux, de préférence de manière croisée.

Selon la configuration d'un dispositif de traitement de signaux utilisé, il est par exemple possible de prévoir ici une multiplication de signaux de réception analogiques, avec un calcul qui s'en suit d'une différence de temps de propagation à partir de signaux numérisés, c'est-à-dire résultant d'un échantillonnage (anglais : sampling). Une variante en guise d'alternative pour un calcul d'une différence de temps de propagation consisterait à prévoir, par rapport à cela, d'abord une multiplication de signaux de réception déjà numérisés.

Indépendamment de cela, pour la détermination d'une différence de temps de propagation Δt à partir de signaux de réception $y_0^r(t)$, $y_1^r(t)$; $y_0^s(t)$ et $y_1^s(t)$, on fait appel à une formule de la forme qui suit :

$$\frac{Z(t)}{N(t)} = \left\{ \frac{y_0^s(t) \cdot y_1^r(t) - y_0^r(t) \cdot y_1^s(t)}{y_0^r(t) \cdot y_0^s(t) - y_1^r(t) \cdot y_1^s(t)} \right\}$$

[Equation 1]

- 5 Dans l'équation 1, les variables munies d'un indice « 0 » représentent ceux des signaux qui relèvent d'un premier signal d'émission x_0 , alors que les signaux désignés par un indice « 1 » relèvent d'un deuxième signal d'émission x_1 qui en est décalé en phase avec une fréquence de base identique. Un exposant « r » désigne en outre ceux des signaux qui relèvent d'une première onde acoustique
- 10 réceptionnée dans une première direction de propagation, par exemple en aval d'un milieu en écoulement. Les signaux désignés par un exposant « s » relèvent quant à eux d'une deuxième onde acoustique réceptionnée, de préférence dans une deuxième direction de propagation opposée, par exemple en amont.
- 15 Avec les valeurs pour un numérateur $Z(t)$ et un dénominateur $N(t)$, on détermine ensuite directement une différence de temps de propagation Δt dans une variante de réalisation préférée, d'après la formule suivante :

$$\Delta t = \frac{\arctan \left\{ \frac{Z(t)}{N(t)} \right\}}{4\pi f}$$

20

[Equation 2]

Ici, f représente une fréquence de base pour les deux signaux d'émission.

- En cas de fréquences de base f_0 et f_1 divergeant peu des signaux d'émission
- 25 différents x_0 , x_1 , cette fréquence de base f peut également être déterminée par exemple à partir de la moyenne arithmétique des deux fréquences de base f_0 et f_1 :

$$f = \frac{f_0 + f_1}{2}$$

[Equation 2.1]

C'est ainsi que les signaux de réception individuels $y_0^r(t)$, $y_1^r(t)$; $y_0^s(t)$, $y_1^s(t)$ n'ont pas
 5 besoin d'être convertis grâce à un traitement ultérieur fastidieux en un signal analytique, mais on prévoit déjà du côté d'émission, ou en tant que référence, au moins deux signaux différents $x_0(t)$ et $x_1(t)$ avec une même fréquence de base f et un déphasage prescrit, de préférence de 90° .

10 Les signaux d'émission utilisés présentent alors de préférence la forme suivante :

$$x_0(t) = -w(t) \cdot \sin(2\pi f \cdot t + \varphi)$$

$$x_1(t) = w(t) \cdot \cos(2\pi f \cdot t + \varphi)$$

[Equations 3]

Dans lesquelles φ désigne un angle de départ pouvant être librement sélectionné et $w(t)$ représente une fonction de fenêtre, laquelle affiche les signaux porteurs à
 15 décalage de phase de préférence de 90° des signaux d'émission x_0 et x_1 , et les masque de nouveau après une durée déterminée. Une telle fonction de fenêtre peut par exemple également comprendre une séquence de modulation codée. Une plage particulièrement grande concernant la durée totale d'un signal d'émission réalisé en tant que rafale d'émission pour l'évaluation de la différence de phase ou de temps
 20 de propagation est obtenue ici lors du choix d'une fenêtre de Blackman-Nuttal.

Un signal d'émission x_0 , x_1 comprend ainsi de préférence respectivement une impulsion oscillatoire ou rafale impulsionnelle, dans lequel les enveloppantes pour les impulsions oscillatoires individuelles des signaux d'émission à décalage de
 25 phase entre eux sont sensiblement identiques entre elles. C'est ainsi que les signaux de réception obtenus à partir des signaux d'émission pour les ondes acoustiques se propageant au moins partiellement à travers le milieu peuvent être recalculés directement de manière particulièrement simple sur une base temporelle commune – également décalée de manière définie – en signaux d'amplitude et de
 30 phase ainsi que des temps de propagation et différences de temps de propagation, sans références supplémentaires comme cela est par exemple nécessaire pour une modulation IQ et sans divisions par des valeurs proches de 0, comme on le montrera encore plus en détails dans ce qui suit.

La détermination d'une différence de phase ou de temps de propagation pour les différentes premières et deuxième ondes acoustiques repose, lors d'une détermination d'une vitesse (moyenne) d'écoulement v_m d'un milieu en écoulement, sur les différents temps de propagation dans le milieu en fonction de la direction.

5

On se sert ici du fait que, dans des directions de propagation différentes, par exemple vers l'aval et par conséquent en direction d'écoulement d'une part, et vers l'amont et par conséquent à l'encontre de la direction d'écoulement d'autre part, différentes vitesses du son apparaissent, lesquelles dépendent de la vitesse d'écoulement. C'est ainsi qu'une vitesse du son en direction d'écoulement est de $c^r = c_0 + v_m$, et une vitesse du son à l'encontre de la direction d'écoulement est de $c^s = c_0 - v_m$, où c_0 est respectivement la vitesse du son dans le milieu au repos.

Si l'émetteur et le récepteur forment alors une distance l_0 de manière absolue et sont éloignés l'un de l'autre d'une distance l dans la projection sur la direction d'écoulement du milieu, le long de cette distance, on obtient les temps de propagation du son correspondants pour les ondes acoustiques individuelles

$$t^r = t_0 - \Delta t = \frac{l_0 c_0}{(c_0^2 - v_m^2)} - \frac{l v_m}{(c_0^2 - v_m^2)}$$

[Equation 4.1]

20 en direction d'écoulement ou

$$t^s = t_0 + \Delta t = \frac{l_0 c_0}{(c_0^2 - v_m^2)} + \frac{l v_m}{(c_0^2 - v_m^2)}$$

[Equation 4.2]

à l'encontre de la direction d'écoulement.

25

Pour une différence de temps de propagation Δt des première et deuxième ondes acoustiques, on obtient par conséquent

$$2 \Delta t = t^s - t^r = \frac{2 l v_m}{(c_0^2 - v_m^2)} \approx 2 v_m \frac{l}{c_0^2}$$

[Equation 5]

C'est ainsi que la différence de temps de propagation Δt est quasi proportionnelle à la vitesse d'écoulement moyenne v_m .

- 5 Le facteur correspondant de proportionnalité $l/(c_0)^2$ correspondant peut être prescrit, par exemple grâce à la détermination (unique) d'un temps de propagation absolu d'une onde acoustique d'un émetteur vers un récepteur. Pour ce faire, on peut utiliser un procédé selon l'invention pour la détermination d'un temps de propagation absolu. En cas de distance connue entre l'émetteur et le récepteur d'un agencement
- 10 déterminé d'émetteur-récepteur et d'une vitesse du son connue dans un milieu déterminé, dont la vitesse d'écoulement doit être mesurée et/ou surveillée, le facteur de proportionnalité peut également être réglé de manière fixe dans le dispositif de traitement de signaux.
- 15 Au moyen des deux signaux d'émission x_0, x_1 à décalage de phase, on génère ainsi les signaux de réception

$$\begin{aligned} y_0^s(t) &= x_0(t - (t_0 + \Delta t)), & y_1^s(t) &= x_1(t - (t_0 + \Delta t)) \\ y_0^r(t) &= x_0(t - (t_0 - \Delta t)), & y_1^r(t) &= x_1(t - (t_0 - \Delta t)) \end{aligned}$$

[Equations 6]

- 20 Une émission simultanée de l'ensemble des quatre signaux d'émission, c'est-à-dire une émission d'un signal d'émission x_0 en direction d'écoulement et à l'encontre de la direction d'écoulement ainsi qu'une émission d'un signal d'émission x_1 en direction d'écoulement et à l'encontre de la direction d'écoulement, est considérée comme avantageuse ici afin de multiplier par exemple entre eux de manière croisée
- 25 les signaux de réception analogiques $y_0^r(t), y_1^r(t); y_0^s(t), y_1^s(t)$ conformément à l'équation 1, et ensuite procéder à un échantillonnage avec un faible taux d'échantillonnage pour la numérisation des valeurs $Z(t)$ et $N(t)$ obtenues de ce fait.

- En variante, il est également possible d'émettre les signaux d'émission individuels
- 30 les uns après les autres et de générer ainsi des ondes acoustiques successivement. Les signaux d'émission individuels sont donc générés séquentiellement par le ou les émetteur(s) respectif(s), et les signaux de réception sont également générés

séquentiellement au niveau du récepteur ou des récepteurs. Dans ce cas, on travaille de préférence avec un taux d'échantillonnage élevé.

5 Avec quatre signaux de réception pouvant être différenciés les uns des autres, lesquels relèvent de deux signaux d'émission à décalage de phase entre eux, comme déjà mentionné en préambule, non seulement une détermination d'une différence de temps de propagation, mais aussi la détermination d'un temps de propagation absolu sont possibles. Dans ce cas, il ne serait par ailleurs pas obligatoire que les ondes acoustiques se propagent à travers le milieu le long d'au
10 moins deux première et deuxième directions de propagation différentes l'une de l'autre. Egalement en cas de directions de propagation identiques, sur la base de la solution selon l'invention, il serait possible de déterminer un temps de propagation absolu au moyen de quatre signaux de réception différenciables les uns des autres.

15 Dans ce cas, on travaille de préférence avec une valeur de départ estimée et une valeur de différence calculée à partir des quatre signaux de réception. On additionne en l'occurrence une valeur de différence calculée avec précision à partir des quatre signaux de réception à la valeur de départ estimée (grossièrement). Ce qui importe dans ce cas, c'est la définition d'un critère solide de temps de propagation, par exemple la position du maximum de corrélation croisée dans la
20 plage de temps de décalage. On s'efforce globalement à ce que l'incertitude de mesure de la valeur de départ estimée pour le temps de propagation soit inférieure à la moitié d'une durée de période $1/f$ du signal porteur utilisé pour les signaux d'émission (par exemple x_0 et x_1 conformément aux équations 3 ci-dessus).

25 Dans ce cas, on présuppose généralement un calcul général pour un temps de propagation absolu t_0 à partir d'une valeur de départ \hat{t}_0 et d'une valeur de différence $\Delta t'$ de manière à ce que s'applique :

$$t_0 = \hat{t}_0 - \Delta t' = \hat{t}_0 - \frac{\Delta \varphi'}{2\pi f}$$

30

[Equation 7]

Ce faisant, pour le calcul de la valeur de différence $\Delta t'$, il s'est avéré par exemple avantageux d'utiliser au moins l'un des termes suivants :

$$\alpha = \text{atan2}\left(y_1^r(t + \hat{t}_0), y_0^r(t + \hat{t}_0)\right) - 2\pi\hat{f} \cdot (t + t_k)$$

$$\beta = \text{atan2}\left(y_1^s(t + \hat{t}_0), y_0^s(t + \hat{t}_0)\right) - 2\pi\hat{f} \cdot (t + t_k)$$

[Equations 8]

Ici, \hat{f} est une valeur estimée pour la fréquence centrale des signaux de réception y_0^r ,

5 y_1^r, y_0^s, y_1^s et t_k une constante de temps prescrite avec $t_k \geq 0$.

La fonction « atan2 » représente dans ce cas une fonction d'arc tangente bien connue en programmation et à déterminer avec un faible effort de calcul, laquelle peut par exemple être définie via les propriétés suivantes :

$$\text{atan2}(y, x) = \begin{cases} \arctan\left(\frac{y}{x}\right) & x > 0 \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) + \pi & x < 0, y \geq 0 \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) - \pi & x < 0, y < 0 \\ +\frac{\pi}{2} & x = 0, y > 0 \\ -\frac{\pi}{2} & x = 0, y < 0 \\ NaN & x = y = 0 \end{cases}$$

10

[Equations 9]

Une valeur de différence $\Delta t'$, et par conséquent un temps de propagation absolu t_0 peuvent alors être définis par calcul, par exemple conformément aux équations 7 et

15 8 ci-dessus, à partir du rapport de formule suivant, de manière comparativement simple sur le plan du calcul grâce à un dispositif de traitement de signaux sans transformée de Fourier:

$$\Delta\varphi' = \frac{1}{2}(\alpha \bmod 2\pi + \beta \bmod 2\pi) - \pi$$

[Equation 10]

Une formule du genre qui suit constitue une possibilité en variante :

5

$$\Delta\varphi' = \frac{1}{2} \left\{ \begin{aligned} &\text{atan2}(-\sin\alpha, 1 - \cos\alpha) - \text{atan2}(\sin\alpha, 1 - \cos\beta) \\ &+ \text{atan2}(-\sin\beta, 1 - \cos\beta) - \text{atan2}(\sin\beta, 1 - \cos\beta) \end{aligned} \right\}$$

[Equation 11]

10 Un calcul selon la méthode suivante constitue une autre variante :

$$\Delta\varphi' = \gamma \cdot \pi - \arctan\left(\cot\frac{\alpha}{2}\right) - \arctan\left(\cot\frac{\beta}{2}\right)$$

avec $\gamma = 0,5 \cdot \text{sign}(\sin\alpha) \cdot (\text{sign}(1 - \cos\alpha) + \text{sign}(1 - \cos\beta) - 2)$

[Equations 12]

15 Une règle de calcul de la forme suivante s'est par ailleurs également avérée avantageuse:

$$\Delta\varphi' = \frac{1}{2}(\alpha' \bmod 2\pi + (\beta' \bmod 2\pi) - \pi$$

[Equation 13.1]

avec

$$\begin{aligned} \alpha' &= \text{atan2}(y_0^r(t + \hat{t}_0), -y_1^r(t + \hat{t}_0)) - 2\pi\hat{f} \cdot (t + t_k) - \frac{\pi}{2} \\ \beta' &= \text{atan2}(y_0^s(t + \hat{t}_0), -y_1^s(t + \hat{t}_0)) - 2\pi\hat{f} \cdot (t + t_k) - \frac{\pi}{2} \end{aligned}$$

20

[Equations 13.2]

Une erreur lors de l'estimation de la fréquence centrale \hat{f} peut être corrigée en ce que les temps de propagation des groupes de signaux considérés sont approxi-
 5 més par une droite. La valeur de fonction de ces droites avec la valeur de départ \hat{t}_0 estimée est alors la meilleure approximation pour le temps de propagation absolu t_0 , et est alors largement indépendante de la fréquence centrale \hat{f} mise en équation pour le calcul.

Un ajustage (ou étalonnage du zéro) peut par exemple avoir lieu par réglage de
 10 l'angle de départ φ de signaux d'émission x_0 et x_1 ou l'addition de la constante de temps t_k au terme de compensation chrono proportionnel.

Une évaluation pour la valeur de départ \hat{t}_0 lors du calcul du temps de propagation absolu t_0 peut également avoir lieu à l'aide des quatre signaux de réception $y_0^r(t)$, $y_1^r(t)$;
 15 $y_0^s(t)$, $y_1^s(t)$ générés lors de la réception des ondes acoustiques. Dans ce cas, une valeur de départ peut par exemple être prescrite pour le calcul du temps de propagation au moyen d'au moins une enveloppe de signal y_{huel} qui est donnée par la formule suivante:

$$y_{\text{huel}} = \sqrt{y_0^2 + y_1^2}$$

20 [Equation 14.1]

ou plus précisément

$$y_{\text{huel}}^r = \sqrt{(y_0^r)^2 + (y_1^r)^2} \quad \text{ou} \quad y_{\text{huel}}^s = \sqrt{(y_0^s)^2 + (y_1^s)^2}$$

25 [Equations 14.2]

Par conséquent, grâce par exemple à l'enveloppe de signal, il est tout d'abord possible d'estimer une valeur de départ \hat{t}_0 , et ensuite, via une valeur de différence
 30 $\Delta t'$ (calculée dans ce qui suit), de déterminer un temps de propagation absolu t_0 . Avec le temps de propagation absolu t_0 , il est par exemple possible de calculer le facteur de proportionnalité $1/(c_0)^2$, et après une détermination d'une différence de

temps de propagation Δt , de fixer une vitesse d'écoulement du milieu en écoulement.

5 Dans une variante de réalisation, on peut en outre prévoir qu'en cas d'une détermination de plusieurs valeurs pour des différences de temps de propagation et/ou pour des temps de propagation absolus d'une pluralité d'ondes acoustiques, le calcul d'une moyenne et/ou une intégration des différences de temps de propagation déterminées et/ou des temps de propagation soient effectués pour minimiser d'éventuelles incertitudes de mesure.

10

D'une manière connue par ailleurs, il est bien entendu possible, au moyen d'une différence de temps de propagation déterminée et/ou au moyen d'un temps de propagation absolu déterminé des première et deuxième ondes acoustiques générées, de déterminer de la même manière une vitesse du son, une
15 concentration, une consistance et/ou une température du milieu respectif, telle un niveau de remplissage du milieu dans un espace intérieur, une épaisseur d'une paroi jouxtant le milieu et/ou une distance de deux parties de paroi jouxtant le milieu, comme cela est également expliqué par exemple dans le document WO 2008/034878 A2 en rapport avec des ondes acoustiques de surface.

20

Un autre aspect de la présente invention est la mise à disposition d'un dispositif tel que défini ci-dessous, lequel est en particulier réalisé et prévu pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention.

25 Un tel dispositif pour la détermination de propriétés physiques et/ou chimiques d'un milieu présente généralement ce qui suit :

- un guide d'ondes acoustique, lequel présente un espace intérieur à remplir avec le milieu,

30

- au moins deux émetteurs, lesquels sont respectivement réalisés et prévus pour la génération d'ondes acoustiques dans le guide d'ondes grâce à un signal d'émission de l'émetteur de telle sorte qu'une onde acoustique générée se propage le long du guide d'ondes et au moins partiellement à
35 travers le milieu,

- 5 – au moins deux récepteurs, lesquels sont réalisés et prévus de manière espacée spatialement l'un par rapport à l'autre le long du guide d'ondes et respectivement pour la génération d'un premier ou deuxième signal de réception pour des première ou deuxième ondes acoustiques atteignant le récepteur respectif, dans lequel une première onde acoustique se propage respectivement le long d'une première direction de propagation, et un premier signal de réception étant généré à cet effet au niveau d'un récepteur, et une deuxième onde acoustique se propageant respectivement le long d'une deuxième direction de propagation identique à la première direction de propagation ou différente de celle-ci, et un deuxième signal de réception étant généré à cet effet au niveau d'un récepteur, et

10
- un dispositif de traitement de signaux, au moyen duquel on détermine, à partir des signaux de réception,

15 • une différence de temps de propagation entre des premières et deuxièmes ondes acoustiques réceptionnées lorsque la deuxième direction de propagation est différente de la première direction de propagation, et/ou,

 • un temps de propagation absolu d'une onde acoustique d'un émetteur vers un récepteur lorsque la deuxième direction de propagation est différente de la première direction de propagation ou est identique à celle-ci,

20

 et lequel est réalisé et prévu pour déterminer, avec une différence de temps de propagation déterminée et/ou un temps de propagation absolu déterminé,

25 des propriétés physiques et/ou chimiques du milieu.

Par analogie au procédé selon l'invention, les émetteurs du dispositif sont dans ce cas également réalisés et prévus pour générer, avec deux signaux d'émission différents à fréquence de base identique et déphasage prescrit entre eux,

30 respectivement des premières et deuxièmes ondes acoustiques de telle sorte que dans la première direction de propagation, deux premiers signaux de réception pouvant être différenciés l'un de l'autre, et dans la deuxième direction de propagation, deux deuxièmes signaux de réception pouvant être différenciés l'un de l'autre sont générés par les récepteurs du dispositif. Le dispositif de traitement de

35 signaux est alors réalisé et prévu pour déterminer une différence de temps de propagation et/ou un temps de propagation absolu grâce aux quatre signaux de

réception générés, dans lequel on utilise de préférence à cet effet respectivement les équations susmentionnées et déposées dans le dispositif de traitement de signaux.

- 5 Une utilisation de transducteurs d'ultrasons en tant qu'émetteur ou récepteur s'est avérée particulièrement avantageuse, lesquels sont réalisés et prévus pour la génération d'ondes acoustiques de surface dans un guide d'ondes du dispositif. Par analogie avec un dispositif connu de par le document WO 2008/034878 A2, un tel dispositif se caractérise alors entre autres par un guide d'ondes acoustique, lequel
- 10 comprend au moins deux éléments de guidage situés en vis-à-vis l'un de l'autre, lesquels délimitent un espace intérieur à remplir avec un milieu et lesquels forment, lors du remplissage de l'espace intérieur avec un milieu, respectivement avec une surface intérieure, une surface de délimitation avec le milieu. Au niveau de la surface intérieure respective, au moins une partie de l'onde acoustique de surface
- 15 générée par un émetteur est convertie en ondes sonores volumiques du milieu, et au moins une partie des ondes sonores volumiques est à son tour convertie en ondes acoustiques de surface du guide d'ondes, lesquelles peuvent alors être réceptionnées au niveau du récepteur respectif.
- 20 C'est justement avec un tel dispositif qu'il est particulièrement efficace de mettre en œuvre le procédé selon l'invention étant donné qu'ici, les quatre signaux de réception différenciables sont formés pour un périmètre de bilan comparativement petit et que d'excellents résultats sont obtenus pour le traitement des signaux avec un investissement nettement réduit lesquels, comme on a pu le confirmer grâce à
- 25 des simulations et expériences correspondantes, présentent une incertitude de mesure extrêmement faible. C'est ainsi qu'avec un effort de calcul nettement réduit, on peut même obtenir une précision de mesure plus élevée le cas échéant lors de la détermination d'une vitesse d'écoulement d'un milieu qui s'écoule.
- 30 Dans une variante de réalisation possible d'un dispositif selon l'invention, le dispositif de traitement de signaux présente des moyens pour la multiplication de signaux de réception analogiques et des moyens pour le calcul qui s'en suit d'une différence de temps de propagation à partir de signaux numérisés, c'est-à-dire résultant d'un échantillonnage (anglais : « sampling »). Les moyens pour la
- 35 multiplication des signaux de réception analogiques comprennent alors, par exemple des multiplicateurs, additionneurs et/ou inverseurs. Pour la numérisation,

on utilise par exemple au moins un convertisseur analogique/numérique du dispositif.

En variante, le dispositif de traitement de signaux peut présenter des moyens pour la numérisation des signaux de réception et des moyens pour la multiplication qui s'en suit de signaux de réception numérisés pour le calcul d'une différence de temps de propagation. Dans ce cas, une variante de réalisation prévoit en guise d'exemple que les signaux de réception soient amenés vers un convertisseur analogique/numérique via un multiplexeur et que seulement les signaux numérisés provenant du convertisseur analogique/numérique soient soumis à un traitement ultérieur, par exemple conformément aux équations ci-dessus, afin de calculer à partir de cela une différence de temps de propagation Δt et/ou un temps de propagation absolu t_0 .

En principe, il est en outre possible de prévoir que la fréquence de base des deux signaux d'émission différents, à décalage de phase l'un par rapport à l'autre, tout comme leur déphasage, soit variable, et ainsi réglable. Conformément à l'équation 3 ci-dessus, on préfère que le déphasage des deux signaux d'émission (x_0 , x_1) soit compris entre 45° et 135° et soit par exemple sensiblement de 90° ou de $\pi/2$.

Pour la génération des quatre ondes acoustiques par les deux signaux d'émission différents et la réception des quatre signaux de réception associés, il est bien entendu possible de prévoir des émetteurs ou récepteurs individuels dans le dispositif de mesure. On préfère cependant que le dispositif présente au moins une unité d'émission et de réception pouvant fonctionner au choix en tant qu'émetteur ou récepteur, de sorte que via une unité d'émission et de réception, dans un mode d'émission, il est possible de générer un signal d'émission pour une onde acoustique dans l'une des directions de propagation tout comme également de réceptionner via celle-ci, dans un mode de réception, une onde acoustique qui s'est propagée dans l'autre direction de propagation vers l'unité d'émission et de réception, et de pouvoir générer un signal de réception correspondant.

Dans un développement possible, concernant l'unité d'émission et de réception, il s'agit d'un transducteur d'ultrasons, lequel convient de préférence également pour un procédé impulsion-écho afin de générer des signaux d'émission et réceptionner

des ondes acoustiques sur la base desquelles le transducteur d'ultrasons génère des signaux de réception.

5 D'autres variantes possibles de la présente invention sont également données par les sous-revendications.

D'autres avantages et caractéristiques de la présente invention apparaîtront par ailleurs clairement dans la description qui suit d'exemples de réalisation à l'aide des figures.

10

Sur les figures, on peut voir :

15 sur la figure 1A, schématiquement, une variante de réalisation d'un dispositif selon l'invention qui est réalisé et prévu pour exécuter le procédé selon l'invention et en particulier pour déterminer une vitesse d'écoulement d'un milieu en écoulement ;

20 sur la figure 1B, schématiquement, un dispositif de traitement de signaux du dispositif de la figure 1A, grâce auquel des signaux de réception analogiques sont en particulier multipliés entre eux et additionnés avant d'être numérisés et soumis à un traitement ultérieur, afin de calculer une différence de temps de propagation;

25 sur la figure 2A, un diagramme montrant la variation d'amplitude normalisée des signaux de réception pour un dispositif selon les figures 1A et 1B, lorsque celui-ci utilise des signaux d'émission conformément à l'équation 3 indiquée plus haut pour la génération d'ondes acoustiques;

30 sur la figure 2B, un diagramme montrant la variation dans le temps de signaux $Z(t)$ et $N(t)$ obtenus à partir des signaux de réception de la figure 2A conformément à l'équation 1 ci-dessus;

35 sur la figure 2C, des différences de temps de propagation superposées à partir des signaux des figures 2A et 2B avec 1000 variations de signaux dans le

temps simulées, bruitées et décalées différemment, la différence réelle de temps de propagation ayant été de 10ns;

5 sur la figure 3, schématiquement, une autre variante de réalisation d'un dispositif selon l'invention, où un dispositif de traitement de signaux présente un démultiplexeur et un multiplexeur ainsi qu'un convertisseur analogique/numérique afin de numériser des signaux de réception générés avant leur traitement ultérieur et en particulier leur multiplication et addition;

10

sur la figure 4, un dispositif connu de l'état de la technique pour la détermination d'une vitesse d'écoulement d'un milieu en écoulement au moyen d'ondes acoustiques de surface.

15 Sur la vue tronquée de la figure 4, un dispositif (de mesure) connu par ailleurs est montré partiellement, lequel est réalisé et prévu pour la détermination de propriétés physiques et/ou chimiques d'un milieu M, en particulier pour la détermination ou mesure d'une vitesse d'écoulement du milieu M s'écoulant. Un guide d'ondes acoustique avec deux substrats 1, 2 en tant qu'éléments de guidage du guide
20 d'ondes est une partie du dispositif de mesure, dans lequel le milieu M s'écoule à travers le guide d'ondes. Les substrats 1, 2 qui sont situés l'un en face de l'autre et dont les surfaces 11, 21 (intérieures) orientées l'une vers l'autre s'étendent parallèlement entre elles le long d'une direction d'extension principale du guide d'ondes, sont fabriqués en un matériau non piézoélectrique.

25

Ces substrats 1, 2 sont situés l'un en face de l'autre à une distance a, et sont bordés ici par deux plaques situées l'une en face de l'autre à cette distance a ou par des parties de paroi situées l'une en face de l'autre, d'un tube, lesquelles forment un espace intérieur 3 (en forme de canal) du guide d'ondes. Dans l'espace intérieur 3,
30 le milieu M à mesurer, qui est représenté schématiquement par des lignes ondulées, est rempli, le milieu M pouvant s'écouler à travers l'espace intérieur 3. La direction d'écoulement du milieu M liquide ou fluide à travers l'espace intérieur 3 est en principe au choix. Ici, il y a un écoulement à partir d'une ouverture d'entrée vers une ouverture de sortie le long de la direction d'étendue principale du guide d'ondes
35 et parallèlement aux surfaces intérieures 11, 21. La direction d'écoulement est indiquée sur la figure 4 par des flèches à l'ouverture d'entrée ou de sortie.

On associe aux deux (premier et deuxième) substrats 1 et 2 du guide d'ondes du dispositif une (première) unité d'émission et de réception SE1 ou une (deuxième) unité d'émission et de réception SE2. Dans ce cas, chaque unité d'émission et de
 5 réception SE1, SE2 peut être exploitée dans au moins deux modes de fonctionnement différents, d'une part en tant qu'émetteur et d'autre part en tant que récepteur, pour exciter ou réceptionner des ondes acoustiques. C'est ainsi que la première unité d'émission et de réception SE1 du deuxième substrat 2 peut par exemple (tout d'abord) être exploitée en tant qu'émetteur, alors que la deuxième
 10 unité d'émission et de réception SE2 du premier substrat 1 est exploitée en tant que récepteur.

Les unités d'émission et de réception SE1, SE2 sont respectivement disposées au niveau d'une surface extérieure 22 ou 12 du substrat 2 ou 1 respectif, laquelle est
 15 située en vis-à-vis d'une surface intérieure 21 ou 11 respectivement tournée vers l'espace intérieur 5 avec le milieu M. Concernant les deux unités d'émission et de réception SE1, SE2, il s'agit de préférence de convertisseurs piézoélectriques avec des électrodes interdigitées. La fixation d'une unité d'émission et de réception SE1, SE2 sur le substrat 2, 1 respectif s'effectue de préférence par collage, de sorte que
 20 celle-ci peut être montée de manière simple et aisée. En variante, on peut également prévoir d'autres types de fixation.

La première unité d'émission et de réception SE1 de la figure 4 se trouve ici dans la zone d'une première extrémité du guide d'ondes, alors que la deuxième unité
 25 d'émission et de réception SE2 est disposée dans la zone d'une autre, deuxième, extrémité du guide d'ondes et que le guide d'ondes s'étend entre ces deux extrémités le long d'une direction d'extension principale dans la vue en coupe transversale représentée.

Grâce à une unité d'émission et de réception, par exemple SE1, travaillant en tant qu'émetteur, des ondes acoustiques de surface OW2 sont générées dans le substrat 2 au moyen d'un signal d'émission prescrit, de préférence impulsif.
 Une partie de l'énergie de ces ondes acoustiques de surface OW2 générées est couplée dans le milieu M au niveau de la surface de délimitation de la surface
 35 intérieure 21 en tant qu'onde sonore volumique VW1. Sur la figure 4, la propagation d'une onde sonore volumique VW1 et la direction de propagation de l'onde sonore

volumique VW1 est dans ce cas représentée schématiquement par une ligne en pointillés et par une flèche à côté de cette ligne en pointillés. Grâce à respectivement deux flèches en sens contraire à côté des lignes en pointillés, on exprime le fait que les ondes sonores volumiques se propagent le long de parties de chemin PA1 à PA7 représentées par les lignes en pointillés dans une direction dans un mode de fonctionnement du dispositif, et dans l'autre direction dans un autre mode de fonctionnement du dispositif.

Les deux substrats 1, 2, lesquels forment les surfaces intérieures 12, 21, se composent de préférence d'un matériau non piézoélectrique et présentent une épaisseur d , laquelle est définie en tant que distance des surfaces intérieures 11, 21 de la surface extérieure 12 ou 22 respectivement associée. Ici, l'épaisseur d est inférieure ou égale à la longueur d'onde des ondes acoustiques de surface respectivement générées. De ce fait, des ondes acoustiques de surface qui se propagent à l'intérieur des substrats 1, 2 peuvent présenter des propriétés d'onde de telle sorte qu'elles se propagent le long des surfaces intérieures 11, 21 tout comme également le long des surfaces extérieures 12, 22 des substrats 1, 2 en forme de plaques. On excite ainsi des ondes de Lamb ou des ondes dans la plage de transition entre des ondes de Lamb et des ondes de Rayleigh. En fonction de l'épaisseur d des plaques des substrats 1, 2, il y aura dans ce cas des ondes acoustiques de surface essentiellement sous la forme d'ondes de Lamb (d inférieur à la longueur d'onde des ondes acoustiques de surface) ou sous la forme d'ondes dans la plage de transition entre des ondes de Lamb et des ondes de Rayleigh (d égal à la longueur d'onde des ondes acoustiques de surface). Dans tous les cas, les ondes acoustiques de surface se propagent le long des deux surfaces 11, 12 ou 21, 22 des substrats 1 et 2.

Comme montré sur la figure 4, les ondes acoustiques de surface OW2 s'étendent ainsi par exemple en partant de l'unité d'émission et de réception SE1 travaillant en tant qu'émetteur, le long de la direction d'extension du deuxième substrat 2 et en particulier le long de la surface intérieure 21 de ce substrat 2. Une partie de l'énergie d'onde sonore des ondes acoustiques de surface OW2 se propageant le long de la surface intérieure 21 du substrat 2 est couplée dans le milieu M se trouvant à l'intérieur de l'espace intérieur 3, de sorte que les ondes sonores volumiques VW1 sont générées à l'intérieur du milieu M. Dans ce cas, une direction de propagation de ces ondes sonores volumiques VW1 couplées dedans est

inclinée de l'ordre d'un angle caractéristique Δ , lequel n'est pas représenté, par rapport à la normale sur la surface 21 plate.

- Les ondes sonores volumiques VW1 se propagent dans le milieu M respectivement
- 5 le long d'un chemin P1. Ce chemin peut être subdivisé en différentes parties PA1, PA2, PA3, PA4, PA5, PA6, PA7 représentées par des lignes en pointillés. Chacune de ces parties de chemin s'étend entre un (deuxième) substrat 2 et l'autre (premier) substrat 1. Dès que l'onde sonore volumique VW1 est arrivée à un emplacement d'interaction au niveau de la surface intérieure 11 du substrat 1 situé en vis-à-vis,
- 10 une partie de son énergie est couplée dans le substrat 1 de telle sorte que des ondes acoustiques de surface OW1 y sont générées, par exemple sous la forme d'ondes de Lamb ou d'ondes de surface dans la plage de transition entre des ondes de Lamb et des ondes de Rayleigh, lesquelles se propagent le long de ce substrat 1.
- 15
- En outre, à chaque moment où l'onde sonore volumique VW1 atteint la surface intérieure 11 ou 21 d'un des substrats 1, 2, il y a une interaction de cette onde sonore avec le substrat 1, 2 correspondant. Dans ce cas, il y a en règle générale un échange d'énergie, à base d'énergie acoustique entre le substrat 1, 2, en particulier
- 20 l'onde de surface OW1, OW2 du substrat respectif 1, 2 et l'onde sonore volumique VW1. L'onde sonore volumique VW1 est au moins partiellement réfléchi et modifie ce faisant sa direction de propagation. Si l'interaction consiste en un couplage d'énergie à partir de l'onde sonore volumique VW1 dans l'onde de surface OW1 concernée, alors l'amplitude de l'onde de surface OW1 augmente du fait de ce
- 25 couplage, et l'amplitude de l'onde sonore volumique VW1 diminue. En variante, en fonction des propriétés du substrat et du milieu M ainsi que de l'onde, il peut également y avoir un couplage d'énergie de l'onde de surface OW1 dans l'onde sonore volumique VW1.
- 30 Grâce à l'interaction de l'onde sonore volumique VW1 avec les substrats 1, 2 le long de son chemin P1, plusieurs emplacements d'interaction sont ainsi définis. Au niveau de ces emplacements d'interaction, l'onde sonore volumique VW1 entre respectivement en interaction avec un substrat 1, 2 et les ondes de surface OW1, OW2 apparaissant dans le substrat 1, 2. C'est ainsi que des (premiers) trains
- 35 d'ondes comprenant des ondes sonores volumiques VW1 se propagent globalement sur un chemin de propagation P1 sensiblement en forme de zigzag

dans le milieu entre la première unité d'émission et de réception SE1 et la deuxième
 unité d'émission et de réception SE2 le long de la direction d'extension principale du
 guide d'ondes. En raison de l'interaction des ondes sonores volumiques VW1 avec
 le premier substrat 1 situé en vis-à-vis du deuxième substrat 2 au niveau de la
 5 surface intérieure 11 de celui-ci, il y a une excitation des ondes de surface OW1 qui
 se propagent sur le substrat 1 et peuvent finalement être réceptionnées au niveau
 de l'unité d'émission et de réception SE2 travaillant en tant que récepteur. Entre les
 emplacements d'interaction du deuxième substrat 2, à savoir ceux des
 emplacements où les ondes sonores volumiques VW1 interagissent avec le
 10 deuxième substrat 2, les ondes de surface OW1 se propagent sans renforcement,
 mais subissent un autre renforcement à l'emplacement d'interaction suivant (le cas
 échéant). Grâce à la mesure des trains d'ondes arrivant au niveau du récepteur E,
 en particulier des ondes de surface OW1, lesquelles ont été excitées par interaction
 avec les ondes sonores volumiques VW1, il est possible de déterminer le temps de
 15 propagation de trains d'ondes entre les première et deuxième unités d'émission et
 de réception SE1, SE2.

C'est ainsi qu'à partir d'ondes acoustiques de surface OW1 (ou de groupes d'ondes
 de surface OW1), lesquelles arrivent les unes après les autres à l'unité d'émission
 20 et de réception SE2 travaillant en tant que récepteur, il est possible d'en déduire la
 vitesse du son à l'intérieur du milieu M, en particulier lorsque le temps de
 propagation des trains d'ondes entre les unités d'émission et de réception SE1, SE2
 est déterminé. Etant donné que les temps de propagation mesurés des ondes
 acoustiques de surface OW1 couplées via les ondes sonores volumiques VW1 au
 25 niveau des emplacements d'interaction respectifs sont influencés par les propriétés
 du milieu M, il est ainsi possible de déterminer, grâce à une unité d'évaluation
 électronique (non représentée ici) à laquelle les signaux d'une unité d'émission et
 de réception SE2 sont retransmis, des propriétés physiques et/ou chimiques du
 milieu M à mesurer. Dans ce cas, on génère respectivement, à partir d'une onde
 30 acoustique réceptionnée à l'unité d'émission et de réception SE1 ou SE2, laquelle
 s'est propagée en tant qu'onde sonore volumique VW1 (ou VW2) au moins en partie
 à travers le milieu M à partir de l'autre unité d'émission et de réception SE1, SE2
 jusqu'à cette unité d'émission et de réception SE2, SE1, un signal de réception.

35 Dans ce cas, il faut tenir compte du fait qu'au niveau d'un récepteur ou d'une unité
 d'émission et de réception exploitée en mode de réception SE2, ce sont

généralement exclusivement des ondes de surface OW1 qui sont réceptionnées, ces ondes de surface OW1 relevant des ondes sonores volumiques VW1 touchant le premier substrat 1. Les différences de temps déterminées entre la réception d'une ou plusieurs onde(s) de surface sont également utilisées de manière
 5 correspondante en tant que base pour la détermination de la vitesse d'écoulement, comme cela va encore être expliqué plus en détails dans ce qui suit.

Pour ce faire, le dispositif de la figure 4 peut être exploité via un multiplexeur dans deux modes de fonctionnement différents, c'est-à-dire qu'également la deuxième
 10 unité d'émission et de réception SE2 précédemment exploitée dans un mode de réception est exploitée dans un mode d'émission, et que la première unité d'émission et de réception SE1 précédemment exploitée en mode d'émission est exploitée en mode de réception. Ce faisant, grâce à la deuxième unité d'émission et de réception SE2 exploitée en mode d'émission, une onde acoustique de surface
 15 OW1 est alors excitée dans le premier substrat 1. Au moins une partie de l'énergie de cette onde acoustique de surface OW1 est convertie comme précédemment en énergie d'une onde sonore volumique VW2 se propageant dans le milieu M, laquelle se propage alors sur un chemin de propagation P2 à partir de la deuxième unité d'émission et de réception SE2 jusqu'à la première unité d'émission et de réception
 20 SE1 à travers le milieu M. L'onde de surface OW1 excitée par la deuxième unité d'émission et de réception SE2 d'une deuxième onde acoustique part ainsi de cette unité d'émission et de réception SE2, de sorte que l'onde sonore volumique VW2 ainsi excitée se propage sensiblement à l'opposé de l'onde sonore volumique VW1 précédente et en forme de zigzag à travers le milieu M en direction de la première
 25 unité d'émission et de réception SE1.

Grâce à la commutation entre le mode d'émission et de réception des unités d'émission et de réception SE1, SE2, la direction de propagation des ondes sonores volumiques VW1, VW2 est par conséquent inversée à l'intérieur du milieu M le long
 30 de la direction de propagation principale du guide d'ondes. Il en résulte qu'en fonction du mode de fonctionnement, des (premiers ou deuxièmes) trains d'ondes, ou premières ou deuxièmes ondes acoustiques, se propagent d'une part entre les deux unités d'émission et de réception SE1 et SE2 de manière à ce qu'ils présentent des parties de chemin PA1 à PA7 s'étendant dans le milieu, le long
 35 desquels ils ont un vecteur de propagation avec une composante de vitesse de propagation vectorielle en direction de l'écoulement du milieu M (premiers trains

d'ondes), et se propagent d'autre part de manière à ce qu'ils présentent des parties de chemin PA7 à PA1 s'étendant dans le milieu, le long desquelles ils ont un vecteur de vitesse de propagation avec une composante de vitesse de propagation vectorielle dans le sens contraire à l'écoulement du milieu M (deuxièmes trains d'ondes). Il en résulte que les temps de propagation des ondes de surface réceptionnées à la première unité d'émission et de réception SE1 d'un deuxième train d'ondes divergent des temps de propagation pour des ondes de surface réceptionnées à la deuxième unité d'émission et de réception SE2 d'un premier train d'ondes en raison de l'écoulement du milieu M. Grâce à une mesure des temps de propagation (absolus) des deux trains d'ondes et/ou à la détermination d'une différence des temps de propagation des trains d'ondes opposés l'un par rapport à l'autre, il est ainsi en principe possible de déterminer la vitesse d'écoulement du milieu M. En outre, grâce à la propagation des trains d'ondes le long du guide d'ondes, il est possible d'en déduire des informations sur la densité ou la concentration de substances dans le milieu M.

Le fait de parvenir, à l'aide de signaux réceptionnés pour des ondes acoustiques arrivant (signaux de réception), à une conclusion quant à une différence de temps de propagation ou même au temps de propagation absolu d'une onde acoustique entre les unités d'émission et de réception SE1, SE2 n'est cependant pas trivial et nécessite le cas échéant un énorme effort de calcul. Cela vaut par ailleurs également pour d'autres dispositifs de mesure avec lesquels, à l'aide d'ondes acoustiques, des propriétés physiques et/ou chimiques d'un milieu sont déterminées.

C'est là qu'intervient alors un procédé selon l'invention, lequel prévoit entre autres l'émission de deux signaux d'émission à décalage de phase entre eux pour la génération d'ondes acoustiques et avec lequel il est possible de réaliser plus efficacement l'évaluation de signaux réceptionnés en particulier dans le cas d'un dispositif avec un guide d'ondes selon la figure 4, et en particulier de déterminer beaucoup plus facilement la détermination d'une différence de temps de propagation d'ondes acoustiques se propageant le long de directions différentes à l'aide de signaux réceptionnés.

C'est ainsi qu'un dispositif de mesure selon la figure 4 connu par l'état de la technique est amélioré de telle sorte que des émetteurs du dispositif génèrent, avec

deux signaux d'émission différents à fréquence de base identique et déphasage prescrit entre eux, respectivement des premières et deuxièmes ondes acoustiques le long des différentes directions de propagation, de préférence en direction d'écoulement et en opposition à la direction d'écoulement, de telle sorte que dans

5 chaque direction de propagation, respectivement deux signaux de réception y_0^r , y_1^r et y_0^s , y_1^s différents sont générés par les récepteurs du dispositif. On prévoit en outre un dispositif de traitement de signaux, par exemple SV_A ou SV_B , grâce auquel on détermine une différence de temps de propagation Δt et/ou un temps de propagation absolu t_0 grâce aux quatre signaux de réception y_0^r , y_1^r , y_0^s et y_1^s générés.

10

Dans une variante de réalisation de la figure 1A, on prévoit alors un générateur de signaux 4 couplé avec plusieurs unités d'émission et de réception SE1, SE2, SE3 et SE4 ou intégré dedans, de sorte que via deux unités d'émission et de réception SE1 et SE2 ainsi que SE3 et SE4 espacées spatialement l'une de l'autre le long de

15 l'étendue longitudinale du guide d'ondes l'une par rapport à l'autre, il est respectivement possible d'utiliser un signal d'émission x_1 ou un signal d'émission x_0 à décalage de phase par rapport à celui-ci, de même fréquence de base, pour la génération d'un onde acoustique (de surface).

20 Dans ce cas, de manière correspondante à l'équation 3 déjà mentionnée plus haut, les signaux d'émission x_0 , x_1 individuels présentent de préférence la forme suivante :

$$x_0(t) = -w(t) \cdot \sin(2\pi f \cdot t + \varphi)$$

$$x_1(t) = w(t) \cdot \cos(2\pi f \cdot t + \varphi)$$

Ici également, les unités d'émission et de réception SE1 à SE4 individuelles sont réalisées de telle sorte qu'elles puissent générer des ondes acoustiques tout

25 comme également réceptionner des ondes acoustiques. C'est ainsi qu'une unité d'émission et de réception SE1 par exemple, génère une onde acoustique se propageant en direction d'écoulement (première direction de propagation), laquelle est réceptionnée à l'unité d'émission et de réception SE2 située en aval et y génère un signal de réception y_1^s . Cette unité d'émission et de réception SE2 génère à son

30 tour une deuxième onde acoustique se propageant en amont (dans la deuxième direction de propagation opposée), laquelle est réceptionnée à l'unité d'émission et de réception SE1 située en amont et conduit à la génération d'un autre signal de

réception y_1^s . Dans ce cas, les deux signaux de réception y_1^r et y_1^s relèvent d'un signal d'émission x_1 .

On génère de la même manière, via le deuxième agencement d'émission et de
5 réception SE3-SE4, avec des signaux d'émission x_0 , des signaux de réception y_0^s et y_0^r .

Grâce à un dispositif de traitement de signaux SV_A selon la figure 1B, on soumet les signaux de réceptions $y_0^r, y_1^r, y_0^s, y_1^s$ analogiques individuels à un traitement ultérieur.

10 Dans ce cas, conformément à l'équation 6 ci-dessus, ce qui suit s'applique pour les signaux de réception individuels :

$$\begin{aligned} y_0^s(t) &= x_0(t - (t_0 + \Delta t)), & y_1^s(t) &= x_1(t - (t_0 + \Delta t)) \\ y_0^r(t) &= x_0(t - (t_0 - \Delta t)), & y_1^r(t) &= x_1(t - (t_0 - \Delta t)) \end{aligned}$$

15

Grâce à l'expression du dispositif de traitement de signaux SV_A montrée sur la figure 1B, qui comprend ici un total de quatre multiplicateurs 5.1, 5.2, 5.3 et 5.4 ainsi que deux additionneurs 7.1 et 7.2 et deux convertisseurs analogiques/humériques 8.1 et 8.2, les signaux de réception analogiques $y_0^r, y_1^r, y_0^s, y_1^s$ sont soumis à un
20 traitement ultérieur et numérisés conformément à l'équation 1 ci-dessus pour donner des signaux formant une enveloppe $Z(t)$ et $N(t)$.

Via une unité de calcul, représentée ici en tant que moyen de traitement de signaux 9, on obtient alors à partir de ces signaux numérisés formant une enveloppe $Z(t)$ et
25 $N(t)$, de manière correspondante à l'équation 2, des valeurs pour une différence de temps de propagation Δt entre les ondes acoustiques se propageant en amont et en aval.

A partir de cela, en cas d'une distance l_0 connue entre les unités d'émission et de
30 réception SE1 et SE2 ou SE3 et SE4 individuelles ainsi que d'une vitesse du son c_0 connue dans le milieu M qui se trouve dans l'espace intermédiaire 3, il est possible de parvenir à la conclusion d'une vitesse d'écoulement (moyenne) du milieu M conformément aux équations 4.1, 4.2 et 5 présentées plus haut.

35 Il est par ailleurs bien entendu également possible d'obtenir un facteur de proportionnalité $(l/(c_0)^2)$ avec un dispositif selon la figure 1A à partir d'un temps de

propagation absolu t_0 à l'aide des quatre signaux de réception $y_0^r, y_1^r; y_0^s, y_1^s$ en ce que le dispositif de traitement de signaux SV_A présente par exemple des moyens pour la mise en œuvre de l'équation 7 mentionnée plus haut.

- 5 La détermination de la différence de temps de propagation Δt avec un dispositif de traitement de signaux SV_A frappe de par sa simplicité car elle permet, en utilisant des composants de technique de commutation simples, de déduire de manière fiable la différence de temps de propagation des ondes acoustiques dans les différentes directions de propagation, en particulier sans avoir besoin de recourir à
10 une transformation de Fourier lors du traitement des signaux.

A l'aide des figures 2A, 2B et 2C, des variations dans le temps des signaux, déterminées par simulation, doivent être représentées et en particulier la précision de mesure atteinte lors de la détermination d'une différence de temps de
15 propagation Δt doit être montrée à l'aide de la figure 2C.

La figure 2A montre dans ce cas une variation d'amplitude normalisée pour les signaux de réception $y_0^r, y_1^r; y_0^s, y_1^s$ individuels. Sur la figure 2B on représente de nouveau les signaux $Z(t)$ et $N(t)$ (voir équation 1) qui en résultent.
20

Sur la figure 2C, on représente alors les différences de temps de propagation Δt qui en sont déduites et déterminées en fonction du temps d'échantillonnage T_{Abt} lors de l'échantillonnage via le dispositif de traitement de signaux SV_A . Un total de 1000 différentes variations dans le temps de signaux bruitées et décalées ont été
25 simulées, et les résultats ont été superposés sur la figure 2C. Dans ce cas, on peut voir qu'avec la mise en œuvre du procédé selon l'invention, la valeur prescrite de différence de temps de propagation de 10ns est toujours bien atteinte au barycentre du signal, et ce avec la configuration comparativement simple et ainsi d'un coût avantageux du dispositif de traitement de signaux SV_A .

30 Alors qu'avec la variante de réalisation selon la figure 1A, on prévoit une émission simultanée de l'ensemble des quatre signaux d'émission ou une commande simultanée de quatre unités différentes d'émission et de réception SE1 à SE4 sous la forme de transducteurs d'ultrasons – de préférence intégrés dans un seul capteur
35 à ultrasons d'un dispositif (de mesure) selon l'invention – avec deux signaux d'émission x_0 et x_1 différents, il est bien entendu également possible de prévoir une

émission décalée dans le temps de signaux d'émission x_0 et x_1 . La figure 3 montre alors schématiquement une variante de réalisation possible.

Ici, une variante de réalisation d'un dispositif de mesure selon l'invention en particulier pour la détermination d'une vitesse d'écoulement (moyenne) v_m d'un milieu M se trouvant dans un espace intérieur 3 est dotée d'un dispositif de traitement de signaux SV_B en variante, lequel comprend entre autres un multiplexeur 40 et un démultiplexeur 90. Le générateur de signaux 4 prescrivant les signaux d'émission x_0 et x_1 , lequel fait de nouveau partie ici d'un agencement avec deux unités d'émission et de réception SE1 et SE2, est couplé avec un multiplexeur 40 afin d'amener de manière décalée dans le temps aux unités d'émission et de réception SE1 et SE2 les signaux d'émission x_0 et x_1 individuels. C'est ainsi que chaque unité d'émission et de réception SE1 ou SE2 peut générer, avec différents signaux d'émission x_0 , x_1 , des premières ou deuxièmes ondes acoustiques dans la direction d'écoulement ou à l'encontre de la direction d'écoulement.

Les unités d'émission et de réception SE1 et SE2 amènent alors successivement au démultiplexeur 90 les signaux de réception y_0^r , y_1^r ; y_0^s , y_1^s sous forme analogique, et ceux-ci sont alors numérisés via un convertisseur analogique/numérique 8 couplé en aval. Ici, les signaux numérisés sont ensuite utilisés pour le calcul de la différence de temps de propagation Δt et/ou du temps de propagation absolu t_0 dans le moyen de traitement de signaux 9, par exemple conformément aux équations 7, 8 et 10 représentées plus haut.

Avec les dispositifs selon l'invention et le procédé pouvant être mis en œuvre par ce biais, il est possible de déterminer les variations en fonction du temps du montant et de la phase de signaux ultrasonores transmis ou réfléchis et les temps de propagation de signal ou différences de temps de propagation qui en sont déduits, d'une manière particulièrement simple et efficace. L'utilisation du matériel peut en outre être limitée à un minimum. Le procédé mis en œuvre pour la détermination d'une différence de temps de propagation Δt et/ou un procédé pour la détermination d'un temps de propagation absolu t_0 est dans ce cas extrêmement robuste et s'accompagne d'une faible incertitude de mesure lorsque, comme représenté, on fait appel à quatre signaux de réception y_0^r , y_1^r ; y_0^s , y_1^s différents, lesquels relèvent de deux signaux d'émission x_0 , x_1 différents de même fréquence de base f et d'un décalage de phase prescrit entre eux.

Pour compléter, il convient encore de remarquer que la séquence fréquentielle ou la variation dans le temps de la fréquence des signaux d'émission x_0, x_1 , est en effet de préférence identique pour chaque mesure effectuée, mais qu'il est possible de

5 faire varier la fréquence de base f pour différentes mesures, c'est-à-dire en particulier différents agencements de mesure et/ou milieux.

On préfère par ailleurs en principe des signaux d'émission impulsionnels résultant en des signaux de réception impulsionnels $y_0^r(t), y_1^r(t); y_0^s(t), y_1^s(t)$ de manière

10 correspondante à la figure 2A. En principe, une excitation continue d'ondes acoustiques au niveau des émetteurs respectifs ou unités d'émission et de réception SE1 à SE4 respectives serait cependant également envisageable.

Il est par ailleurs évident qu'avec les dispositifs représentés et les procédés mis en

15 œuvre avec, il est possible de déterminer non seulement une vitesse (moyenne) d'écoulement v_m d'un milieu M qui s'écoule, mais aussi – en variante ou de manière complémentaire – de réaliser une mesure de la concentration, de l'épaisseur, de la distance, de la température et/ou du niveau de remplissage, comme cela est déjà

20 bien connu pour des dispositifs comparables qui travaillent avec des ondes acoustiques, en particulier des ondes ultrasonores. La même chose vaut pour la détermination de variations en fonction du temps de l'amplitude momentanée ou de la phase momentanée des ondes acoustiques réceptionnées et des valeurs qui en sont déduites pour la densité et la viscosité du milieu M .

Liste des numéros de référence

1	(premier) substrat
11	surface intérieure
12	surface extérieure
2	(deuxième) substrat
21	surface intérieure
22	surface extérieure
3	espace intérieur
4	générateur de signaux
40	multiplexeur
5.1 - 5.4	multiplicateur
6	inverseur
7.1, 7.2	additionneur
8	convertisseur analogique/numérique (convertisseur A/N)
8.1, 8.2	convertisseur analogique/numérique (convertisseur A/N)
9	moyen de traitement de signaux
90	démultiplexeur
a	distance
d	épaisseur
f	fréquence de base
M	milieu
OW1, OW2	onde sonore de surface
P1, P2	chemin
PA1 - PA7	partie de chemin
SE1, SE2, SE3, SE4	unité d'émission et de réception
SV _A , SV _B	dispositif de traitement de signaux
t_0	temps de propagation
v_m	vitesse moyenne d'écoulement
VW1, VW2	onde sonore volumique
w	fonction de fenêtre
x	signal d'émission
y^r	premier signal de réception (en aval)
y^s	deuxième signal de réception (en amont)

φ

angle de départ

 Δt

différence de temps de propagation

Revendications

1. Procédé pour la détermination de propriétés physiques et/ou chimiques d'un milieu sur la base d'au moins une première et une deuxième onde acoustique, lesquelles se sont respectivement propagées au moins partiellement à travers le milieu à partir d'au moins un émetteur vers au moins un récepteur, dans lequel
 - les ondes acoustiques sont respectivement générées par un signal d'émission (x_0, x_1) ,
 - la première onde acoustique se propage à travers le milieu (M) le long d'une première direction de propagation, et la deuxième onde acoustique se propage à travers le milieu (M) le long d'une deuxième direction de propagation différente de la première direction de propagation, et
 - pour une première onde acoustique réceptionnée après sa propagation à travers le milieu (M) le long de la première direction de propagation, un premier signal de réception (y_0^r, y_1^r) est généré, et pour une deuxième onde acoustique réceptionnée après sa propagation à travers le milieu (M) le long de la deuxième direction de propagation, un deuxième signal de réception (y_0^s, y_1^s) est généré,
 dans lequel on détermine, à partir des signaux de réception $(y_0^r, y_1^r; y_0^s, y_1^s)$, une différence de temps de propagation (Δt) des ondes acoustiques, et au moyen d'une différence de temps de propagation (Δt) déterminée, des propriétés physiques et/ou chimiques du milieu (M) étant déterminées,

caractérisé en ce que

- au moins deux signaux d'émission (x_0, x_1) différents sensiblement de même fréquence de base (f) sont utilisés, lesquels présentent un déphasage prescrit entre eux et par lesquels sont générés respectivement la première et la deuxième onde acoustique de telle sorte que pour chaque direction de propagation, deux signaux de réception $(y_0^r, y_1^r; y_0^s, y_1^s)$ sont générés, lesquels relèvent de signaux d'émission (x_0, x_1) différents, et

- une différence de temps de propagation (Δt) des ondes acoustiques se propageant le long des deux directions de propagation différentes est déterminée grâce aux quatre signaux de réception ($y_0^r, y_1^r, y_0^s, y_1^s$).

5

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les quatre signaux de réception ($y_0^r, y_1^r, y_0^s, y_1^s$) entrent directement dans un calcul pour calculer une différence de temps de propagation (Δt), et une différence de temps de propagation (Δt) étant seulement calculée en cas de présence de l'ensemble des quatre signaux de réception ($y_0^r, y_1^r, y_0^s, y_1^s$).

10

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que**, pour la détermination d'une différence de temps de propagation (Δt), des signaux de réception ($y_0^r, y_1^r, y_0^s, y_1^s$) pour des ondes acoustiques sont multipliés entre eux, lesquels ont été générés par des signaux d'émission (x_0, x_1) différents.

15

4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** l'on prévoit une multiplication de signaux de réception ($y_0^r, y_1^r, y_0^s, y_1^s$) analogiques, avec un calcul qui s'ensuit d'une différence de temps de propagation (Δt) à partir de signaux numérisés, ou bien en ce que l'on prévoit, pour un calcul d'une différence de temps de propagation (Δt), une multiplication de signaux de réception ($y_0^r, y_1^r, y_0^s, y_1^s$) numérisés.

20

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** l'on utilise, pour la détermination d'une différence de temps de propagation (Δt), une formule de la forme suivante:

25

$$\frac{Z(t)}{N(t)} = \left\{ \frac{y_0^s(t) \cdot y_1^r(t) - y_0^r(t) \cdot y_1^s(t)}{y_0^r(t) \cdot y_0^s(t) - y_1^r(t) \cdot y_1^s(t)} \right\},$$

où t est le temps et

30

y_0^s étant le premier signal de réception pour l'onde acoustique générée par un premier signal d'émission (x_0),

y_1^s étant le premier signal de réception pour l'onde acoustique générée par un deuxième signal d'émission (x_1),

y_0^r

étant le deuxième signal de réception pour l'onde acoustique générée dans l'autre direction de propagation par un premier signal d'émission (x_0) y_1^r et

5 étant le deuxième signal de réception pour l'onde acoustique générée dans l'autre direction de propagation par un deuxième signal d'émission (x_1).

6. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** l'on détermine une différence de temps de propagation Δt d'après la formule suivante :

10

$$\Delta t = \frac{\arctan \left\{ \frac{Z(t)}{N(t)} \right\}}{4\pi f}$$

où f est ici une fréquence de base pour les deux signaux d'émission (x_0 , x_1).

- 15 7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** les deux signaux d'émission (x_0 , x_1) différents présentent des fréquences de base (f_0 , f_1) divergeant peu l'une de l'autre, et en ce qu'une fréquence de base f pour la détermination de la différence de temps de propagation Δt est déterminée à partir de la moyenne arithmétique des deux fréquences de base (f_0 , f_1).

20

8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les signaux d'émission (x_0 , x_1) comprennent respectivement une impulsion oscillatoire et en ce que des enveloppes pour les impulsions oscillatoires individuelles des signaux d'émission (x_0 , x_1) à décalage de phase entre eux sont
- 25 sensiblement identiques entre elles.

9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** des ondes acoustiques sont générées simultanément ou les unes après les autres par les signaux d'émission (x_0 , x_1).

30

10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'on détermine, au moyen de la différence de temps de propagation (Δt), une vitesse d'écoulement (v_m) d'un milieu (M) en écoulement, et en ce que les ondes acoustiques sont générées par les signaux d'émission (x_0 , x_1) d'une manière
- 35 telle, que des premières ondes acoustiques se propagent à travers le milieu (M) le long d'une première direction de propagation dans la direction d'écoulement

du milieu (M), et que des deuxièmes ondes acoustiques se propagent à travers le milieu (M) le long d'une deuxième direction de propagation à l'encontre de la direction d'écoulement du milieu (M).

- 5 11. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** l'on calcule une vitesse d'écoulement grâce à la différence de temps de propagation (Δt) et à un facteur de proportionnalité ($l/(c_0)^2$) connu.
- 10 12. Procédé pour la détermination de propriétés physiques et/ou chimiques d'un milieu sur la base d'au moins une première et une deuxième onde acoustique, lesquelles se sont respectivement propagées au moins partiellement à travers le milieu à partir d'au moins un émetteur vers au moins un récepteur, dans lequel
- 15 – les ondes acoustiques sont respectivement générées par un signal d'émission (x_0, x_1),
- la première onde acoustique se propage à travers le milieu (M) le long d'une première direction de propagation, et la deuxième onde acoustique se propage à travers le milieu (M) le long d'une deuxième direction de propagation identique à la première direction de propagation ou différente de celle-ci, et
- 20 – pour une première onde acoustique réceptionnée après sa propagation à travers le milieu (M) le long de la première direction de propagation, un premier signal de réception (y_0^r, y_1^r) est généré, et pour une deuxième onde acoustique réceptionnée après sa propagation à travers le milieu (M) le long de la deuxième direction de propagation, un deuxième signal de réception (y_0^s, y_1^s) est généré,
- 25 dans lequel on détermine, à partir des signaux de réception ($y_0^r, y_1^r; y_0^s, y_1^s$), un temps de propagation absolu (t_0) d'une onde acoustique d'un émetteur (SE1, SE2, SE3, SE4) vers un récepteur (SE2, SE1, SE4, SE3), et au moyen d'un temps de propagation absolu (t_0) déterminé, des propriétés physiques et/ou chimiques du milieu (M) étant déterminées,

caractérisé en ce que

- 5 – au moins deux signaux d'émission (x_0, x_1) différents sensiblement de même fréquence de base (f) sont utilisés, lesquels présentent un déphasage prescrit entre eux et avec lesquels on génère respectivement une première et une deuxième onde acoustique de telle sorte que, pour chaque direction de propagation, deux signaux de réception ($y_0^r, y_1^r; y_0^s, y_1^s$) sont générés, lesquels relèvent de signaux d'émission (x_0, x_1) différents, et
- 10 – un temps de propagation absolu (t_0) d'une onde acoustique entre un émetteur (SE1, SE2, SE3, SE4) et un récepteur (SE2, SE1, SE4, SE3) est déterminé grâce aux quatre signaux de réception ($y_0^r, y_1^r; y_0^s, y_1^s$).

13. Procédé selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** l'on détermine un
- 15 temps de propagation absolu (t_0) à partir d'une valeur de départ estimée (\hat{t}_0) et d'une valeur de différence ($\Delta t'$) calculée à partir des quatre signaux de réception ($y_0^r, y_1^r; y_0^s, y_1^s$).

14. Procédé selon la revendication 13, **caractérisé en ce que**, pour le calcul de la
- 20 valeur de différence ($\Delta t'$), on utilise au moins l'un des termes suivants:

$$\alpha = \text{atan2} \left(y_1^r(t + \hat{t}_0), y_0^r(t + \hat{t}_0) \right) - 2\pi\hat{f} \cdot (t + t_k)$$

$$\beta = \text{atan2} \left(y_1^s(t + \hat{t}_0), y_0^s(t + \hat{t}_0) \right) - 2\pi\hat{f} \cdot (t + t_k)$$

\hat{f} étant ici une valeur estimée pour la fréquence centrale des signaux de réception ($y_0^r, y_1^r; y_0^s, y_1^s$) et t_k une constante de temps prescrite avec $t_k \geq 0$ et

- 25 y_0^s étant le premier signal de réception pour l'onde acoustique générée par un premier signal d'émission (x_0),
- y_1^s étant le premier signal de réception pour l'onde acoustique généré par un deuxième signal d'émission (x_1),
- y_0^r étant le deuxième signal de réception pour l'onde acoustique générée dans l'autre direction de propagation par un premier signal d'émission (x_0)
- 30 y_1^r et

étant le deuxième signal de réception pour l'onde acoustique générée dans l'autre direction de propagation par un deuxième signal d'émission (x_1).

- 5 15. Procédé selon la revendication 13 ou 14, **caractérisé en ce que** l'on prescrit une valeur de départ (\hat{t}_0) pour le calcul du temps de propagation au moyen d'au moins une enveloppe de signal d'une paire de signaux de réception ($y_0^r, y_1^r; y_0^s, y_1^s$), dans lequel les signaux de réception ($y_0^r, y_1^r; y_0^s, y_1^s$) de la paire de signaux de réception relèvent de signaux d'émission (x_0, x_1) différents, mais
10 d'ondes acoustiques s'étant propagées dans la même direction de propagation.

16. Procédé selon la revendication 15, **caractérisé en ce qu'une** enveloppe de signal y_{huel} est donnée grâce à la formule suivante

15 où
$$y_{\text{huel}} = \sqrt{y_0^2 + y_1^2}$$

y_0 est un premier signal de réception pour l'onde acoustique générée par un premier signal d'émission (x_0) et

y_1 est un deuxième signal de réception pour l'onde acoustique générée par un deuxième signal d'émission (x_1).

20

17. Procédé selon l'une des revendications 11 à 16, **caractérisé en ce qu'au** moyen du temps de propagation absolu (t_0) déterminé, on détermine une vitesse d'écoulement (v_m) d'un milieu (M) s'écoulant et en ce que les ondes acoustiques sont générées par les signaux d'émission (x_0, x_1) de telle sorte que des
25 premières ondes acoustiques se propagent à travers le milieu (M) le long d'une première direction de propagation dans la direction d'écoulement du milieu (M) et que des deuxièmes ondes acoustiques se propagent à travers le milieu (M) le long d'une deuxième direction de propagation à l'encontre de la direction d'écoulement du milieu (M), dans lequel on calcule, à l'aide du temps de propagation absolu (t_0) déterminé, un facteur de proportionnalité ($l/(c_0)^2$), et avec
30 le facteur de proportionnalité ($l/(c_0)^2$) et une différence de temps de propagation (Δt) mesurée, en particulier avec une différence de temps de propagation (Δt) déterminée selon un procédé des revendications 1 à 11 entre au moins une première et une deuxième onde acoustique, lesquelles se sont propagées au

moins partiellement à travers le milieu (M) en écoulement le long de différentes directions de propagation, une vitesse d'écoulement (v_m) étant déterminée.

- 5 18. Procédé selon l'une des revendications 1 à 17 précédentes, **caractérisé en ce que**, lors d'une détermination de plusieurs valeurs pour des différences de temps de propagation (Δt) et/ou pour des temps de propagation absolus (t_0) d'une pluralité d'onde acoustiques, on effectue le calcul de la moyenne et/ou une intégration des différences de temps de propagation (Δt) et/ou des temps de propagation (t_0) déterminés.
- 10 19. Procédé selon l'une des revendications 1 à 18 précédentes, **caractérisé en ce que**, lors du procédé respectif, on détermine au moyen d'une différence de temps de propagation (Δt) déterminée et/ou au moyen d'un temps de propagation absolu (t_0) déterminé, une vitesse du son, une concentration, une densité, une température, un niveau de remplissage du milieu dans un
- 15 espace intérieur, une épaisseur d'une paroi jouxtant le milieu et/ou une distance de deux parties de paroi jouxtant le milieu.
- 20 20. Dispositif pour la détermination de propriétés physiques et/ou chimiques d'un milieu, en particulier pour la mise en œuvre d'un procédé selon l'une des revendications 1 à 19, avec
- un guide d'ondes acoustique, lequel présente un espace intérieur (3) à remplir avec le milieu (M),
- 25
- au moins deux émetteurs (SE1, SE2; SE3, SE4), lesquels sont respectivement réalisés et prévus pour la génération d'ondes acoustiques dans le guide d'ondes grâce à un signal d'émission (x_0, x_1) de l'émetteur (SE1, SE2; SE3, SE4) de telle sorte qu'une onde acoustique générée se
- 30 propage le long du guide d'ondes et au moins partiellement à travers le milieu (M),
- au moins deux récepteurs (SE2, SE1; SE4, SE3), lesquels sont réalisés et prévus de manière espacée spatialement l'un de l'autre le long du guide d'ondes et respectivement pour la génération d'un premier ou deuxième
- 35 signal de réception ($y_0^r, y_1^r; y_0^s, y_1^s$) pour une première ou deuxième onde

acoustique atteignant le récepteur (SE2, SE1; SE4, SE3) respectif, dans lequel une première onde acoustique se propage respectivement le long d'une première direction de propagation et pour ce faire, un premier signal de réception (y_0^r, y_1^r) étant généré au niveau d'un récepteur (SE2, SE1; SE4, SE3), et une deuxième onde acoustique se propageant respectivement le long d'une deuxième direction de propagation identique à la première direction de propagation ou différente de celle-ci et pour ce faire, un deuxième signal de réception (y_0^s, y_1^s) étant généré au niveau d'un récepteur (SE2, SE1; SE4, SE3), et

- un dispositif de traitement de signaux (SV_A, SV_B), à l'aide duquel on détermine, à partir des signaux de réception ($y_0^r, y_1^r, y_0^s, y_1^s$),
 - une différence de temps de propagation (Δt) entre des premières et deuxièmes ondes acoustiques réceptionnées lorsque la deuxième direction de propagation est différente de la première direction de propagation,
 - un temps de propagation absolu (t_0) d'une onde acoustique d'un émetteur (SE1, SE2; SE3, SE4) vers un récepteur (SE 2, SE1; SE4, SE3) lorsque la deuxième direction de propagation est différente de la première direction de propagation ou identique à celle-ci,
- et lequel est réalisé et prévu pour déterminer, avec une différence de temps de propagation (Δt) déterminée et/ou un temps de propagation absolu (t_0) déterminé, des propriétés physiques et/ou chimiques du milieu (M),

caractérisé en ce que

- les émetteurs (SE1, SE2; SE3, SE4) du dispositif sont réalisés et prévus pour générer, avec deux signaux d'émission (x_0, x_1) différents sensiblement de même fréquence de base (f) et à décalage de phase prescrit entre eux, respectivement des premières et deuxièmes ondes acoustiques de telle sorte que dans la première direction de propagation, deux premiers signaux de réception différenciables, et dans la deuxième direction de propagation, deux deuxièmes signaux de réception ($y_0^r, y_1^r, y_0^s, y_1^s$) différenciables sont générés par les récepteurs (SE2, SE1, SE4, SE3) du dispositif, et

- le dispositif de traitement de signaux (SV_A , SV_B) est réalisé et prévu pour déterminer une différence de temps de propagation (Δt) et/ou un temps de propagation absolu (t_0) grâce aux quatre signaux de réception (y_0^r , y_1^r , y_0^s , y_1^s).
- 5 21. Dispositif selon la revendication 20, **caractérisé en ce que** les émetteurs (SE1, SE2; SE3, SE4) sont réalisés et prévus pour générer des ondes acoustiques de surface (OW1, OW2) dans le guide d'ondes.
- 10 22. Dispositif selon la revendication 20 ou 21, **caractérisé en ce que** le dispositif est réalisé et prévu pour la détermination d'une vitesse d'écoulement (v_m) d'un milieu (M) s'écoulant à travers l'espace intérieur (3) du guide d'ondes.
- 15 23. Dispositif selon l'une des revendications 20 à 22, **caractérisé en ce que** le dispositif de traitement de signaux (SV_A , SV_B) présente des moyens (5.1, 5.2, 5.3, 5.4) pour la multiplication de signaux de réception analogiques (y_0^r , y_1^r ; y_0^s , y_1^s) et des moyens (9) pour le calcul qui s'ensuit d'une différence de temps de propagation (Δt) à partir de signaux numérisés, ou des moyens (8) pour la numérisation des signaux de réception (y_0^r , y_1^r ; y_0^s , y_1^s) et des moyens (9) pour la multiplication qui s'ensuit de signaux de réception numérisés pour le calcul
- 20 d'une différence de temps de propagation (Δt).
24. Dispositif selon l'une des revendications 20 à 23, **caractérisé en ce que** la fréquence de base (f) des deux signaux d'émission (x_0 , x_1) est variable.
- 25 25. Dispositif selon l'une des revendications 20 à 22, **caractérisé en ce que** le déphasage des deux signaux d'émission (x_0 , x_1) est variable entre 45° et 135° , et est en particulier de 90° .

FIG 1A

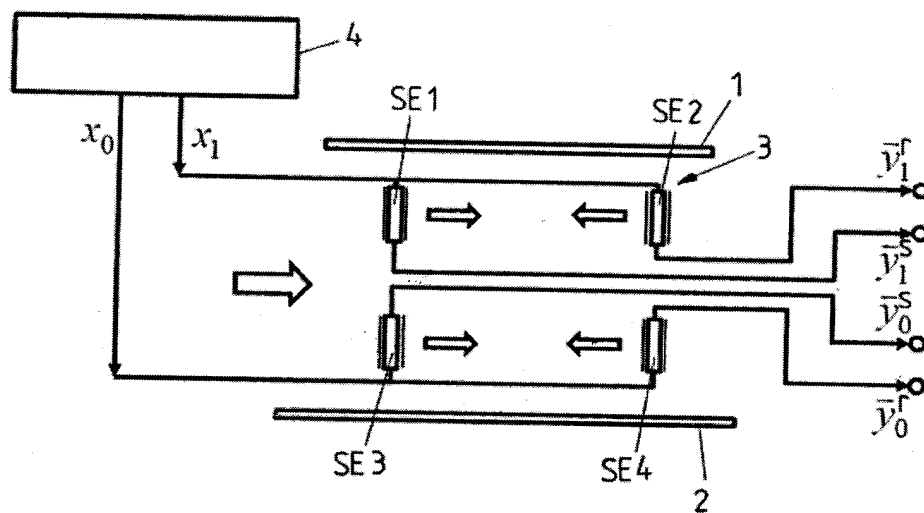


FIG 1B

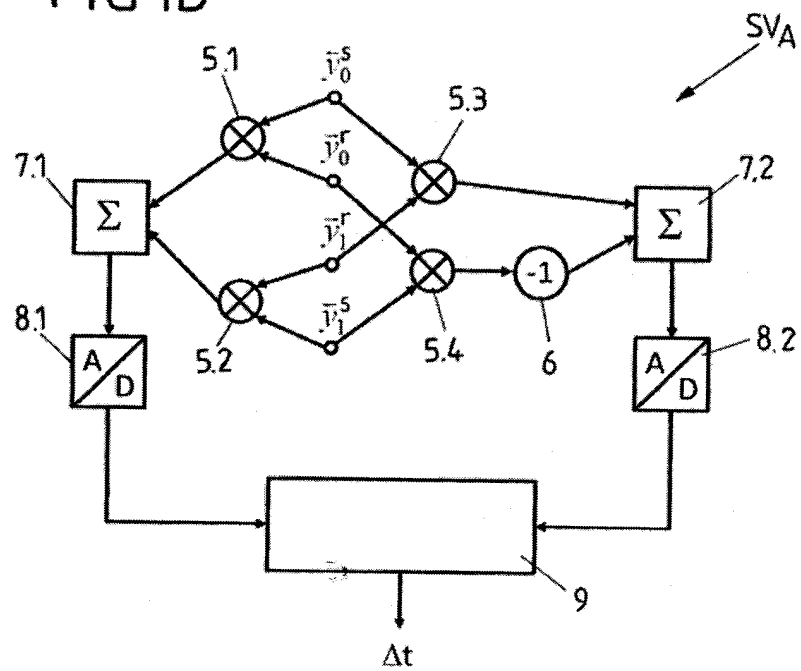


FIG 2A

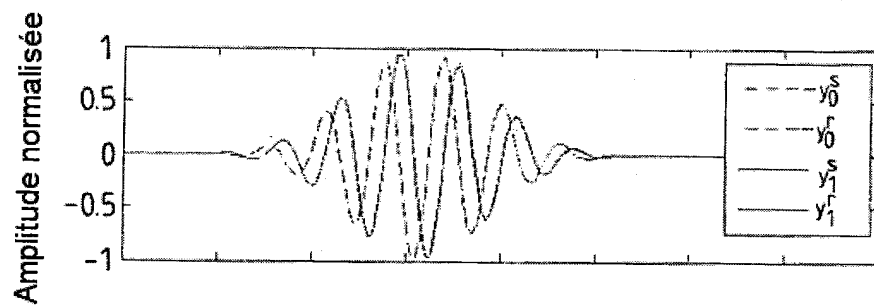


FIG 2B

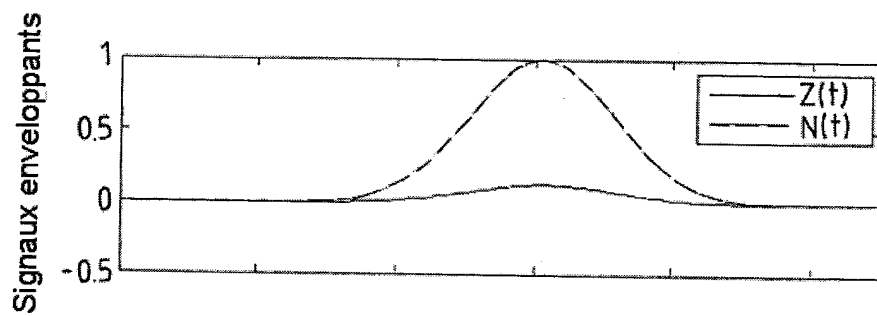


FIG 2C

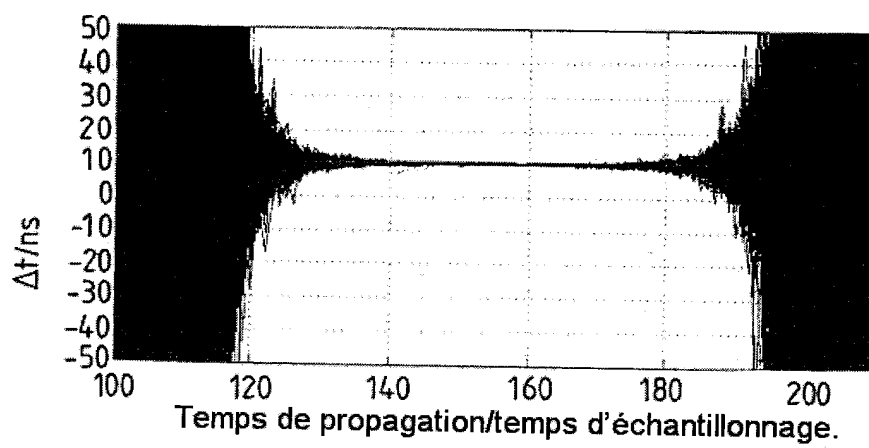


FIG 3

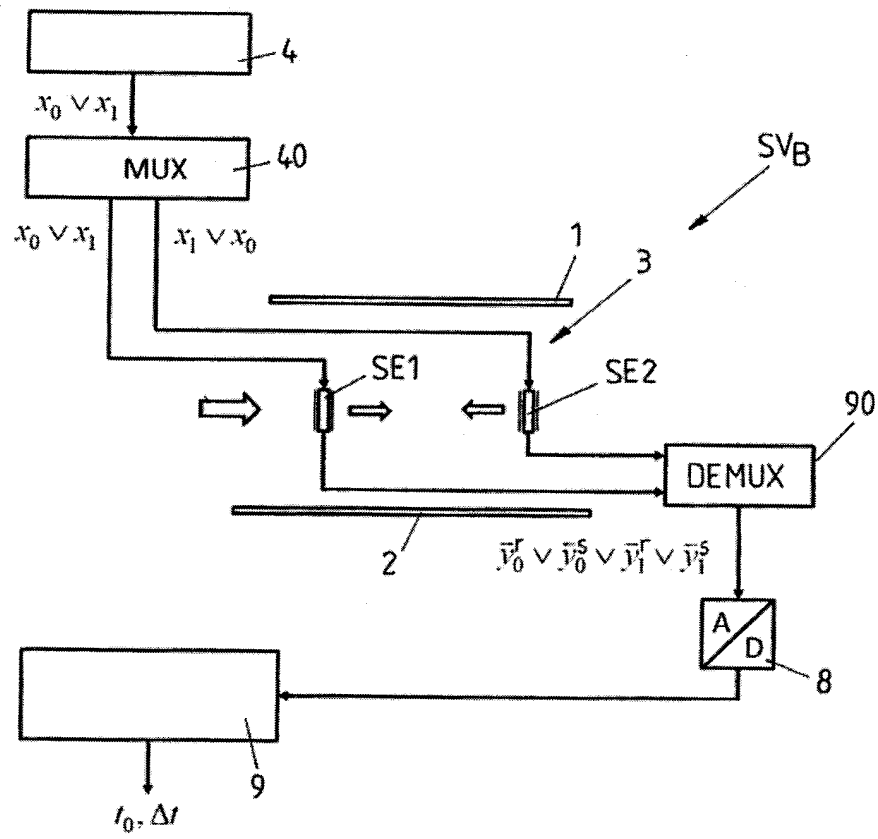
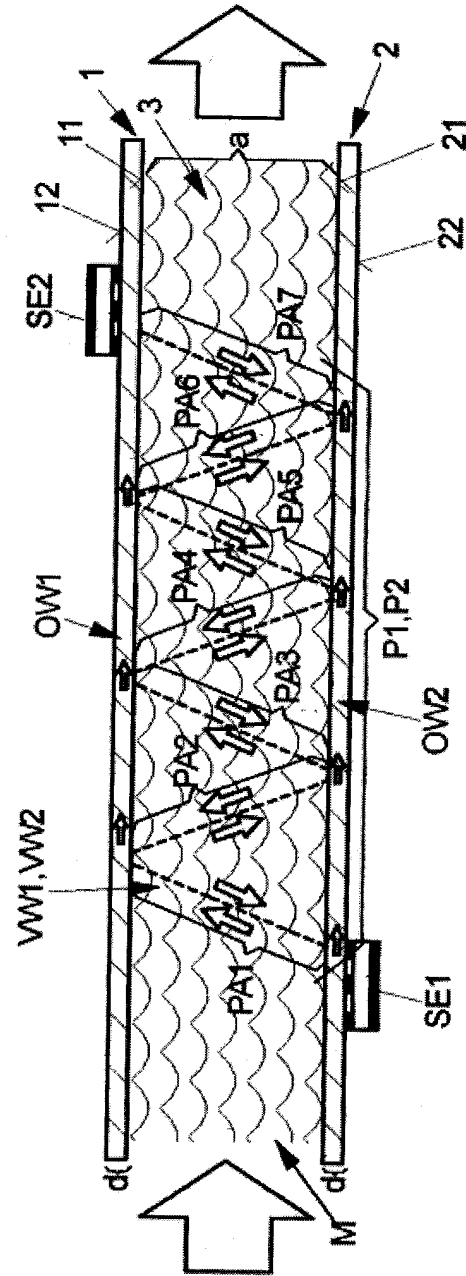


FIG 4 Etat de la technique



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☒ Le demandeur a maintenu les revendications.

☐ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

EP 2069775 A2 (FACHHOCHSCHULE COBURG [DE]) 17 juin 2009 (2009-06-17)

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

US 3575050 A (LYNNWORTH LAWRENCE C) 13 avril 1971 (1971-04-13)

WO 2010034713 A2 (HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN FACHHOCHSCHULE COBURG) 1 avril 2010 (2010-04-01)

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT