

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①① N° de publication : **3 126 773**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national : **21 09401**

⑤① Int Cl⁸ : **G 01 F 1/34 (2020.12), G 01 L 7/08, G 01 L 13/00**

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ **SYSTEME DE MESURE DE DEBIT DE LIQUIDE DANS UNE CANALISATION MICRO-FLUIDIQUE.**

②② **Date de dépôt** : 08.09.21.

③① **Priorité** :

④③ **Date de mise à la disposition du public de la demande** : 10.03.23 Bulletin 23/10.

④⑤ **Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention** : 01.09.23 Bulletin 23/35.

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)** : *ELVESYS Société par actions simplifiée* — FR.

⑦② **Inventeur(s)** : PLECIS Adrien, McMILLAN Alexander, VELVE-CASQUILLAS Guilhem et FARIN Eric.

⑦③ **Titulaire(s)** : *ELVESYS Société par actions simplifiée*.

⑦④ **Mandataire(s)** : CABINET SEBASTIEN MARCONNET.

FR 3 126 773 - B1



Description

Titre de l'invention : SYSTEME DE MESURE DE DEBIT DE LIQUIDE DANS UNE CANALISATION MICRO-FLUIDIQUE

- [0001] La présente invention concerne un système de mesure de débit de liquide dans une canalisation micro fluidique. Elle concerne également un procédé de mesure de débit dans une canalisation micro fluidique ainsi que l'utilisation d'un tel système pour la réalisation d'un générateur de débit micro fluidique à l'aide duquel on peut contrôler le débit de liquide dans cette canalisation.
- [0002] De nombreux systèmes de mesure de débit d'un liquide dans une canalisation micro fluidique (dans laquelle le débit de liquide est typiquement compris entre 1 $\mu\text{L}/\text{min}$ et 5 ml/min) ont été décrits dans la littérature. L'article intitulé « micromachined flow sensors-a review » de N.T. Nguyen publié dans la revue FLOW MEASUREMENT AND INSTRUMENTATION-MARCH 1997, décrit différentes méthodes de mesure du débit d'un liquide dans la gamme des débits micro fluidiques, c'est-à-dire les débits de liquide inférieurs à 100 ml/min, et typiquement compris entre 1 $\mu\text{L}/\text{min}$ et 1 ml/min pour la majorité des applications. Les méthodes les plus courantes sont basées sur l'utilisation de capteurs thermiques faisant usage de la mesure du déplacement d'un flux thermique transporté par le mouvement du liquide.
- [0003] Il est également connu d'utiliser des capteurs vibrants basés sur la force de Coriolis pour réaliser des mesures de débit de fluides tels que ceux commercialisés sous la dénomination Cori-FLOW par la société Bronkhorst.
- [0004] La demande de brevet WO2017/125499 déposée au nom de la société ELVESYS décrit un système de mesure de débit utilisant une mesure de pression d'un gaz d'une part et une mesure de pression d'un liquide d'autre part.
- [0005] Il est également connu, par exemple des brevets US5515735, US8403908 ou WO9740350, d'utiliser deux capteurs de pression liquide disposés de part et d'autre d'une canalisation micro fluidique ou d'une restriction, mesurant la perte de charge du liquide dans la canalisation micro fluidique ou la restriction. De cette mesure de différence de pression, on peut en déduire aisément le débit D d'un liquide newtonien incompressible à travers la canalisation micro fluidique ou la restriction à l'aide de la formule :
- [0006]
$$D = (P1 - P2) / Rh$$
- [0007] $P1$ étant la pression du liquide en amont de la canalisation ou restriction, $P2$ étant la pression du liquide en aval de la canalisation ou restriction et Rh la résistance hydraulique de la canalisation ou de la restriction entre les deux points de mesure de pression amont et aval du liquide. La résistance hydraulique est mesurée pour l'eau à

température de 20°C. Dans le cas d'autres fluides, on peut déduire une résistance hydraulique équivalente grâce au rapport des viscosités dynamique du liquide introduit dans la canalisation à la viscosité de l'eau à 20°C. La résistance hydraulique peut être soit déduite de la géométrie de la canalisation dans le cas des canalisations simples (section cylindrique), soit calibrée à l'aide d'un générateur de débit (par exemple un pousse seringue) et en mesurant la chute de pression de part et d'autre de la canalisation à débit constant imposé.

- [0008] Dans ces systèmes, et compte tenu que la résistance hydraulique soit connue, la mesure de débit est ainsi calculée à l'aide par exemple d'un ordinateur spécialement configuré auquel sont transmises les valeurs mesurées de P1, P2, la valeur connue ou calibrée de Rh et qui délivre un signal électrique proportionnel à D.
- [0009] Tous les systèmes de mesure de débit dans une canalisation micro fluidique actuellement connus, quel que soit leur principe de fonctionnement, sont confrontés au problème de bouchage dû à l'encrassement des canalisations micro fluidiques et du blocage de l'écoulement du liquide. L'encrassement (c'est-à-dire le dépôt de matière ou de débris à l'intérieur de la voie d'écoulement du liquide) peut compromettre la précision ou la fonctionnalité du système en modifiant la dynamique d'écoulement et donc la résistance hydraulique de la conduite dans les cas des systèmes de mesure de débit par pression différentielle ou la dynamique de propagation thermique dans le cas des capteurs de débit thermique. Bien que certaines précautions et/ou protocoles de nettoyage puissent résoudre plus ou moins bien ce problème, l'existence d'un encrassement d'une canalisation micro fluidique peut s'avérer difficile à mettre en évidence et peut ainsi entraîner des mesures erronées du débit à l'insu de l'utilisateur notamment lors d'expérimentations ou d'utilisations longues pendant lesquelles les procédures de nettoyages ne peuvent pas être appliquées. En outre, et malgré l'application des procédures de nettoyages, certains capteurs ne sont plus en mesure de proposer une valeur de mesure valable car l'encrassement a définitivement modifié la dynamique du capteur et ces derniers deviennent de facto inutilisables.
- [0010] L'invention permet de résoudre le problème d'encrassement de canalisations et restrictions micro fluidiques dans les systèmes de mesure de débit de liquide amenant à des mesures erronées à l'insu de l'utilisateur en proposant un système de mesure de débit à même de mesurer l'effet de cet encrassement.
- [0011] L'invention vise également à proposer un système de mesure de débit capable d'alerter l'utilisateur lors de la survenue d'un bouchage progressif et de proposer une mesure de débit fiable malgré un encrassement partiel du capteur de débit.
- [0012] L'invention propose enfin d'être robuste aux encrassements homogènes particulièrement difficiles à détecter et de permettre l'utilisation de systèmes de mesure analogiques ou encore le contrôle du débit à l'aide d'un générateur de pression.

- [0013] A cet effet, l'invention a pour objet un système de mesure de débit dans une canalisation micro fluidique caractérisé en ce qu'il comporte n capteurs de pression C_i (C_1, C_2, \dots, C_n), avec n supérieur ou égal à 3, disposés en série sur la canalisation et mesurant la pression du liquide les traversant, ces capteurs étant séparés entre eux par $n-1$ portions de canalisation R_i (R_1, R_2, \dots, R_{n-1}) présentant chacune une résistance hydraulique R_{hi} ($R_{h1}, R_{h2}, \dots, R_{hn-1}$), les capteurs de pression mesurant la pression P_i (P_1, P_2, \dots, P_n) du liquide les traversant respectivement, ainsi qu'un ordinateur (10) spécialement configuré pour :
- [0014] - mesurer les variations de pression ou pertes de charge ΔP_i ($\Delta P_1, \Delta P_2, \dots, \Delta P_{n-1}$) entre deux capteurs de pression C_i et C_{i+1} successifs,
- [0015] - calculer le débit de liquide D_i (D_1, D_2, \dots, D_{n-1}) dans la portion de canalisation R_i , et
- [0016] - calculer la différence proportionnelle de débit $\Delta D_{k,j}$ entre deux valeurs D_k et D_j parmi les valeurs de débit D_i .
- [0017] Selon une réalisation de l'invention, l'ordinateur spécialement configuré est apte à calculer la moyenne des débits D_{moyen} des valeurs de débits D_i .
- [0018] Selon une réalisation de l'invention, l'ordinateur comprend des moyens de détections de bouchage pour engendrer un signal d'alerte lorsqu'une différence proportionnelle $\Delta D_{k,j}$ entre deux quelconques valeurs D_k et D_j parmi l'ensemble des valeurs D_i est supérieure à une valeur de seuil ΔD_{seuil} , ce signal indiquant un bouchage partiel et / ou un encrassement de la canalisation micro fluidique.
- [0019] Selon une réalisation de l'invention, l'ordinateur spécialement configuré est apte à calculer la moyenne de débits D_{moyen} sur le plus grand ensemble des D_i tel que deux quelconques débits D_j et D_k de cet ensemble présentent une différence proportionnelle de débit $\Delta D_{k,j}$ inférieure à ΔD_{seuil} .
- [0020] Selon une réalisation de l'invention, au moins une des portions de canalisation R_i a un diamètre hydraulique différent de celui des autres portions de canalisations.
- [0021] Selon une réalisation de l'invention, deux portions de canalisation R_i présentent un rapport de diamètre hydraulique supérieur ou égal à 2.
- [0022] L'invention a également pour objet un procédé pour mesurer le bouchage d'une canalisation micro fluidique caractérisé en ce qu'il consiste à faire circuler le fluide au travers de $n-1$ (n supérieure ou égale à 3) portions de canalisation micro fluidiques R_i , disposées en série présentant chacune une résistance hydraulique (R_{hi} , respectivement), un capteur de pression C_i étant disposé respectivement aux deux extrémités de chaque portion de canalisation micro fluidique configurées en série de manière à mesurer les variations de pression ΔP_i entre les deux capteurs de pression disposés aux deux extrémités de la i -ème portion de canalisation micro fluidique R_i et ensuite calculer le débit D_i dans chaque portion de canalisation selon la relation :

[0023] $D_i = \Delta P_i / R_{hi}$

[0024] ainsi que les différences proportionnelles de débit $\Delta D_{k,j}$, selon la relation :

[0025] $\Delta D_{k,j} = |D_k - D_j| / ((D_k + D_j) / 2)$

[0026] ledit procédé étant en mesure de calculer la valeur moyenne des débits D_{moyen} selon la relation :

[0027] $D_{moyen} = \sum (D_i) / (n - 1)$

[0028] Par exemple, ΔP_1 entre le premier capteur C1 et le deuxième capteur C2 donne D1 en connaissant la résistance hydraulique R_{h1} de la première portion de canalisation R1, et ΔP_2 entre le deuxième capteur C2 et le troisième capteur C3 de pression donne D2 en connaissant la résistance hydraulique R_{h2} de la deuxième portion de canalisation R2, la comparaison des différentes valeurs de D_i permettant de déterminer l'encrassement ou le bouchage de la canalisation.

[0029] Selon une mise en œuvre de l'invention, la différence proportionnelle $\Delta D_{k,j}$ entre deux quelconques valeurs D_k et D_j parmi l'ensemble de valeurs de débit D_i étant comparée à une valeur de consigne ΔD_{seuil} prédéterminée, un signal d'alerte est engendré lorsque au moins un $\Delta D_{k,j}$ devient supérieure à ΔD_{seuil} indiquant un bouchage d'une des deux portions de canalisation micro fluidique. Dans le cas où un bouchage n'est pas détecté, la valeur moyenne du débit de liquide D_{moyen} est calculée avec $D_{moyen} = \sum (D_i) / (n-1)$ afin d'en déduire ultérieurement le débit instantané du fluide.

[0030] Selon une mise en œuvre de l'invention, on détermine le plus grand sous- ensemble de D_i tel que deux quelconques débits de ce sous-ensemble D_k et D_j présentent une différence proportionnelle de débit $\Delta D_{k,j}$ inférieure à ΔD_{seuil} et que le débit moyen D_{moyen} est alors calculé sur ce sous ensemble de débit.

[0031] Selon une mise en œuvre de l'invention, la valeur de débit moyen D_{moyen} du débit de liquide est utilisée par un sous ensemble de contrôle d'un ordinateur spécialement configuré pour engendrer une consigne de pression P utilisable pour réguler le débit de liquide.

[0032] L'invention sera mieux comprise à l'aide des exemples de réalisation suivants, donnés à titre non limitatif, conjointement avec les figures qui la représentent dans le cas particulier de trois capteurs de pression et deux portions de canalisation ($n=3$):

[0033] [Fig.1a] La [Fig.1a] une illustration schématique du système et procédé selon l'invention;

[0034] [Fig.1b] La [Fig.1b] une représentation graphique de courbes de débit à l'intérieur de deux portions de canalisation de la [Fig.1a];

[0035] [Fig.2] La [Fig.2] un schéma d'un exemple du système de débit micro fluidique selon l'invention;

- [0036] [Fig.3] La [Fig.3] un autre schéma de réalisation de l'invention.
- [0037] Les éléments identiques, similaires, ou analogues conservent la même référence d'une figure à l'autre.
- [0038] La [Fig.1a] représente schématiquement un module illustrant le principe à la base du système et procédé selon l'invention. Sur cette figure un débit de liquide 4 est envoyé dans le canal micro fluidique R1 au travers du capteur de pression 1 placé à l'entrée de R1 puis récupéré à la sortie de R1 après avoir traversé le capteur de pression 2. Les canaux micro fluidiques R1 et R2 sont connectés en série, R2 étant relié à la sortie du capteur 2 de manière à récupérer le débit de liquide issu de R1 et le conduire jusqu'au capteur de pression 3 puis à la sortie du liquide 5. Dans ce mode de réalisation, les portions de canalisations R1, R2 sont ainsi réalisées à l'aide de canaux micro fluidiques.
- [0039] A l'aide d'un ordinateur 10 spécialement configuré les différences de pressions $\Delta P1$ et $\Delta P2$ sont mesurées entre respectivement les deux extrémités des canaux micro fluidiques R1 et R2 ayant une extrémité commune au niveau du capteur 2 et utilisées pour calculer les valeurs de débit du fluide D1 et D2 dans les canaux R1 et R2, respectivement. Dans des circonstances normales, dans lesquelles aucun encrassement et/ou blocage des canaux micro fluidiques R1 et R2 ne s'est produit, les deux valeurs de débit du fluide D1 et D2 seront égales. Par contre s'il existe un blocage partiel et/ou un encrassement du dispositif, celui-ci produira une différence proportionnelle $\Delta D = |D2 - D1| / ((D2 + D1) / 2)$ entre les deux valeurs de débit du fluide calculées ($D1 \neq D2$) en raison du changement de résistance hydraulique effective du canal affecté, à partir de laquelle le débit du fluide est calculé. Cette différence proportionnelle ΔD sera calculée à l'aide d'un ordinateur 10 spécialement configuré pour calculer $\Delta P1$, $\Delta P2$, D1 et D2 à partir des mesures de pression issues des capteurs, puis comparer ΔD à une valeur de consigne ΔD_{seuil} , et engendrer un signal d'alarme (optique, électrique, mécanique etc...) qui sera exploité par l'utilisateur, de manière à permettre à celui-ci, s'il le souhaite, de nettoyer afin de mesurer avec plus d'exactitude le débit de liquide dans le circuit de canalisations micro fluidiques.
- [0040] En effet, lorsqu'on injecte un liquide contenant des débris dans des portions de canalisations successives, les premières portions de canalisations en amont du flux de liquide tendent à se boucher plus rapidement que les portions de canalisation en aval du flux. Ce bouchage partiel des premières portions de la canalisation amène la résistance hydraulique R_{hi} des premières portions de canalisation à augmenter plus rapidement que celles situés en aval du flux. Ainsi, on peut voir dans la courbe des débits de la [Fig.1b] qu'un encrassement de la portion R1 amène une augmentation virtuelle du débit D1 par rapport à D2 au cours du temps ce qui alerte l'utilisateur que la mesure de débit est probablement erronée. Cette invention permet donc à l'utilisateur de

vérifier la cohérence des débits successifs mesurés dans les restrictions pour s'assurer qu'un colmatage ne s'opère pas dans le système au niveau d'une portion de canalisation.

- [0041] Dans le cas où l'encrassement était dû au dépôt continu d'une couche de matériel sur les parois du canaux, il se peut néanmoins que les résistances hydrauliques varient de façon concomitante et donc que l'utilisateur ne soit pas en mesure de voir l'encrassement des canalisations en comparant la valeur des débits. Dans ce cas, il sera préférable d'utiliser des canaux ayant des diamètres hydrauliques différents. On entend par "diamètre hydraulique", le diamètre équivalent qu'aurait une canalisation circulaire présentant une perte de charge équivalente.
- [0042] Comme la résistance hydraulique varie de façon non linéaire avec le diamètre hydraulique d'une canalisation, opter pour des canalisations avec des rayons hydrauliques différents permettra, en cas d'encrassement homogène des parois (réduction linéaire dans le temps du diamètre hydraulique), d'augmenter beaucoup plus rapidement la résistance hydraulique et donc le débit mesuré dans la canalisation présentant un diamètre hydraulique plus petit. En particulier, l'utilisation de deux canalisations dont une présentant un diamètre hydraulique au moins 2 fois plus faible qu'une autre permettra de distinguer un encrassement homogène constant dans le temps de façon certaine en provoquant une variation relative de résistance hydraulique au moins deux fois supérieure pour la canalisation de faible diamètre hydraulique par rapport à la canalisation de diamètre hydraulique supérieure. On détectera ainsi différence de débit de l'ordre de l'erreur provoquée par l'encrassement homogène. Dans le cas d'une application microfluidique, on pourra par exemple utiliser deux capillaires en série de diamètre internes respectif $50\mu\text{m}$ et $150\mu\text{m}$ ou encore deux micro canaux de section rectangulaire, de hauteur constante, par exemple de $100\mu\text{m}$ et de largeurs respectives de $50\mu\text{m}$ et $200\mu\text{m}$ pour réaliser ces deux sections de canalisation de résistance hydraulique significativement différentes.
- [0043] Si toutefois un encrassement équivalent venait à modifier de façon similaire les résistances hydrauliques dans plusieurs portions de canalisations, il sera alors préférable d'augmenter le nombre de ces portions de canalisations et des capteurs de pression. Ce schéma général est représenté dans la [Fig.1a] par l'élément 29 avec n capteurs de pression et n-1 portions de canalisations disposées en série. En multipliant le nombre de débits mesurés pour chacune des n-1 portions, la probabilité d'avoir un encrassement équivalent concomitant est réduit et l'utilisateur bénéficiera donc d'un capteur de débit plus fiable encore.
- [0044] Si la résistance hydraulique des n-1 portions de canalisation n'est pas connue, ou varie compte tenu du procédé de fabrication, il sera possible à l'opérateur d'effectuer une étape de calibration consistant à injecter un liquide propre (eau ultra-pure) à un

débit connu (par exemple avec l'aide d'un pousse seringue) et de mesurer avec l'ordinateur la réponse des n capteurs de pressions pour en déduire la chute de pression et donc la résistance hydraulique de chacune des $n-1$ portions de canalisation. Ces résistances hydrauliques pourront ainsi être stockées dans la mémoire de l'ordinateur pour être utilisées lors de la mesure d'un débit inconnu. De même, si un capteur de débit a subi un bouchage partiel de l'une de ses canalisations, l'étape de calibrage initiale permettra de corriger les résistances du capteur de débit encrassé pour permettre une réutilisation ultérieure, par exemple après une étape de nettoyage. Cela permettra donc à l'utilisateur d'effectuer des économies substantielles en pouvant réutiliser un capteur ayant subi un encrassement partiel.

- [0045] La [Fig.2] représente un exemple de réalisation du système de débit micro fluidique selon l'invention. Le débit de liquide micro fluidique 4 arrive sur le premier capteur de pression 1. Celui-ci délivre une mesure de la pression $P1$ via la connexion 21 à l'ordinateur 10 spécialement configuré pour mesurer avec le sous-ensemble 22 la différence de pression $\Delta P1$ entre la pression $P1$ et la pression $P2$ mesurée à l'aide du capteur de pression 2 à la sortie de la canalisation micro fluidique $R1$ puis calculer le débit du fluide $D1$ dans la canalisation $R1$, transmise à l'ordinateur 10 par la connexion 23. Le sous ensemble 22 transmet la valeur $D1$ par la connexion 12 au sous ensemble détecteur de bouchage 11.
- [0046] Le liquide micro fluidique issu de $R1$ au niveau du capteur 2 s'écoule ensuite dans la canalisation micro fluidique $R2$ jusqu'au troisième capteur de pression 3 et la sortie du débit de liquide 5. Le capteur de pression 3 via la connexion 24 délivre un signal de pression $P3$ au sous ensemble 26 semblable au sous ensemble 22 tandis que le capteur 2 est également relié par la connexion 25 au sous ensemble 26 auquel elle délivre également un signal de pression $P2$, le sous ensemble 26 transmettant la valeur $D2$ par la connexion 13 au sous ensemble détecteur de bouchage 11, qui calcule la différence proportionnelle des valeurs de débit ΔD (à partir de $D1$ et $D2$) et la compare avec ΔD_{seuil} .
- [0047] L'ordinateur est alors en mesure d'émettre un signal d'alerte 14 à l'opérateur en cas de dépassement de ce seuil maximal. Cette alerte permet notamment de ne pas laisser à l'opérateur l'initiative d'apprécier le moment où les débits sont trop différents et rend plus robuste l'utilisation de ce type de capteur, notamment dans des lignes de productions. L'ordinateur pourra aussi réaliser toute forme de traitement et d'analyse des signaux (moyennage, intégrale, dérivée) pour détecter une dérive sous le seuil d'alerte mais permettant de prévenir une erreur future et déclencher une maintenance préventive sur le capteur de débit.
- [0048] La valeur $D2$ est également envoyée par la connexion 15 à l'entrée 17 du sous ensemble 19 qui reçoit également sur son entrée 18 la valeur $D1$ par la connexion 16,

l'ordinateur 10 grâce à son sous ensemble 19 effectuant la moyenne des amplitudes de D1 et D2 et délivrant en sortie 20 une mesure de débit moyen du liquide micro fluidique, plus précis que D1 et D2 : c'est aussi un des avantages de l'invention pour laquelle les valeurs D1 et D2 ont une double fonction de détection d'un bouchage de canalisation et de mesure d'un débit moyen. Il est à noter aussi que l'opérateur pourra préférer configurer l'alerte au niveau de l'ordinateur pour que celle-ci se déclenche quand la valeur absolue de la différence de débit est supérieure à un seuil absolu par exemple de $1\mu\text{L}/\text{min}$ pour un capteur devant opérer sur une gamme allant de 0 à $100\mu\text{L}/\text{min}$.

- [0049] La [Fig.3] montre un exemple de réalisation de l'invention dans lequel on utilise les mesures de variations de pression $\Delta P1$ et $\Delta P2$, d'où les variations de débit du fluide D1 et D2, pour engendrer un signal S représentant le débit moyen dans la canalisation micro fluidique dans le cas où un bouchage n'est pas détecté par le sous ensemble détecteur de bouchage 11. Ce signal S est utilisé par un dispositif de contrôle 26 (sous ensemble de l'ordinateur 10) de type PID (pour Proportionnel-Intégral-Dérivé) pour engendrer un signal de consigne P de pression à un contrôleur de pression 27 (par exemple le contrôleur Elveflow OB1) qui va piloter la pression du ciel gazeux dans le réservoir 28 de liquide injecté dans la canalisation micro fluidique 4, permettant ainsi de contrôler le débit du liquide micro fluidique.
- [0050] La mesure S du capteur de débit peut ainsi être utilisée pour lire rapidement le débit de liquide à un instant donné et être entrée dans une boucle d'asservissement PID afin d'ajuster la pression de pompage appliquée dans le réservoir 28, et ainsi contrôler le débit dans le système micro fluidique.
- [0051] De préférence, le détecteur de pression à l'extrémité aval d'une portion de canalisation R_i est le même que le détecteur de pression placé à l'entrée de la portion de canalisation successive R_{i+1} , c'est-à-dire, il existe de préférence un seul capteur de pression entre deux portions de résistances hydrauliques successives.
- [0052] L'invention fonctionne avec la lecture en continu des capteurs de pression intégrés et le calcul à l'aide d'un ordinateur spécialement configuré des valeurs ΔP_i et D_i .
- [0053] Avant que la moyenne des valeurs D_i ne soit réalisée, la différence entre elles est calculée. Si la différence proportionnelle $\Delta D_{k,j}$ entre deux quelconques valeurs D_k et D_j de débit parmi l'ensemble des valeurs D_i est supérieure à ΔD_{seuil} (par exemple, 2 %), il est probable qu'un encrassement ou un blocage du chemin d'écoulement du micro-canal soit présent. Ce seuil est déterminé par l'erreur cumulée des capteurs de pression successifs (ex : exactitude de mesure $\pm 0,2\%$), dont les signaux constituent le calcul d'un ΔP_i et d'un D_i , en plus de toute incertitude liée aux dimensions des micro-canaux intégrés (ex : une tolérance dimensionnelle de $\pm 0,5\%$ du micro-usinage, car l'exactitude du calcul de débit dépend également de l'exactitude des dimensions des

micro-canaux). Dans les cas où la différence maximale entre valeurs de débit fluïdique ΔD dépasse ce seuil, par exemple une lumière LED à l'extérieur du capteur s'allumera (commandée par l'ordinateur spécialement configuré) pour indiquer le blocage probable à l'utilisateur. De préférence l'ordinateur spécialement configuré émettra un message d'avertissement suggérant à l'utilisateur d'effectuer un protocole de nettoyage du capteur pour résoudre le problème d'encrassement.

[0054] Ces opérations arithmétiques (pour déterminer les valeurs ΔP_i , D_i , $\Delta D_{k,j}$ et D_{moyen}) seront effectuées plusieurs fois par seconde par l'ordinateur spécialement configuré et ensuite communiquées à une interface logicielle de contrôle et d'enregistrement des données (non représentée sur les figures).

Revendications

- [Revendication 1] Système de mesure de débit dans une canalisation micro fluidique caractérisé en ce qu'il comporte n capteurs de pression C_i (C_1, C_2, \dots, C_n), avec n supérieur ou égal à 3, disposés en série sur la canalisation et mesurant la pression du liquide les traversant, ces capteurs étant séparés entre eux par $n-1$ portions de canalisation R_i (R_1, R_2, \dots, R_{n-1}) présentant chacune une résistance hydraulique R_{hi} ($R_{h1}, R_{h2}, \dots, R_{hn-1}$), les capteurs de pression mesurant la pression P_i (P_1, P_2, \dots, P_n) du liquide les traversant respectivement, ainsi qu'un ordinateur (10) spécialement configuré pour :
- mesurer les variations de pression ou pertes de charge ΔP_i ($\Delta P_1, \Delta P_2, \dots, \Delta P_{n-1}$) entre deux capteurs de pression C_i et C_{i+1} successifs,
 - calculer le débit de liquide D_i (D_1, D_2, \dots, D_{n-1}) dans chaque portion de canalisation R_i , et
 - calculer la différence proportionnelle de débit $\Delta D_{k,j}$ entre deux valeurs D_k et D_j parmi les valeurs de débit D_i ,
- l'ordinateur (10) comprenant des moyens de détections de bouchage (11) pour engendrer un signal d'alerte (14) lorsqu'une différence proportionnelle $\Delta D_{k,j}$ entre deux quelconques valeurs D_k et D_j parmi l'ensemble des valeurs D_i est supérieure à une valeur de seuil ΔD_{seuil} , ce signal indiquant un bouchage partiel et / ou un encrassement de la canalisation micro fluidique.
- [Revendication 2] Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'ordinateur spécialement configuré (10) est apte à calculer la moyenne des débits D_{moyen} des valeurs de débits D_i .
- [Revendication 3] Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'ordinateur spécialement configuré (10) est apte à calculer la moyenne de débits D_{moyen} sur le plus grand ensemble des D_i tel que deux quelconques débits D_j et D_k de cet ensemble présentent une différence proportionnelle de débit $\Delta D_{k,j}$ inférieure à ΔD_{seuil}
- [Revendication 4] Système selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'au moins une des portions de canalisation R_i a un diamètre hydraulique différent de celui des autres portions de canalisations.
- [Revendication 5] Système selon la revendication 4, caractérisé en ce que deux portions de canalisation R_i présentent un rapport de diamètre hydraulique supérieur ou égal à 2.
- [Revendication 6] Procédé pour mesurer le bouchage d'une canalisation micro fluidique

caractérisé en ce qu'il consiste à faire circuler le fluide au travers de n-1 (n supérieure ou égale à 3) portions de canalisation micro fluidiques R_i , disposées en série présentant chacune une résistance hydraulique (R_{hi} , respectivement), un capteur de pression C_i étant disposé respectivement aux deux extrémités de chaque portion de canalisation micro fluidique configurées en série de manière à mesurer les variations de pression ΔP_i entre les deux capteurs de pression disposés aux deux extrémités de la i -ème portion de canalisation micro fluidique R_i et ensuite calculer le débit D_i dans chaque portion de canalisation selon la relation :

$$D_i = \Delta P_i / R_{hi}$$

ainsi que les différences proportionnelles de débit $\Delta D_{k,j}$, selon la relation :

$$\Delta D_{k,j} = |D_k - D_j| / ((D_k + D_j) / 2)$$

ledit procédé étant en mesure de calculer la valeur moyenne des débits D_{moyen} selon la relation :

$$D_{moyen} = \sum (D_i) / (n - 1)$$

la différence proportionnelle $\Delta D_{k,j}$ entre deux quelconques valeurs D_k et D_j parmi l'ensemble de valeurs de débit D_i étant comparée à une valeur de consigne ΔD_{seuil} prédéterminée, un signal d'alerte est engendré lorsque au moins un $\Delta D_{k,j}$ devient supérieure à ΔD_{seuil} indiquant un bouchage d'une des deux portions de canalisation micro fluidique.

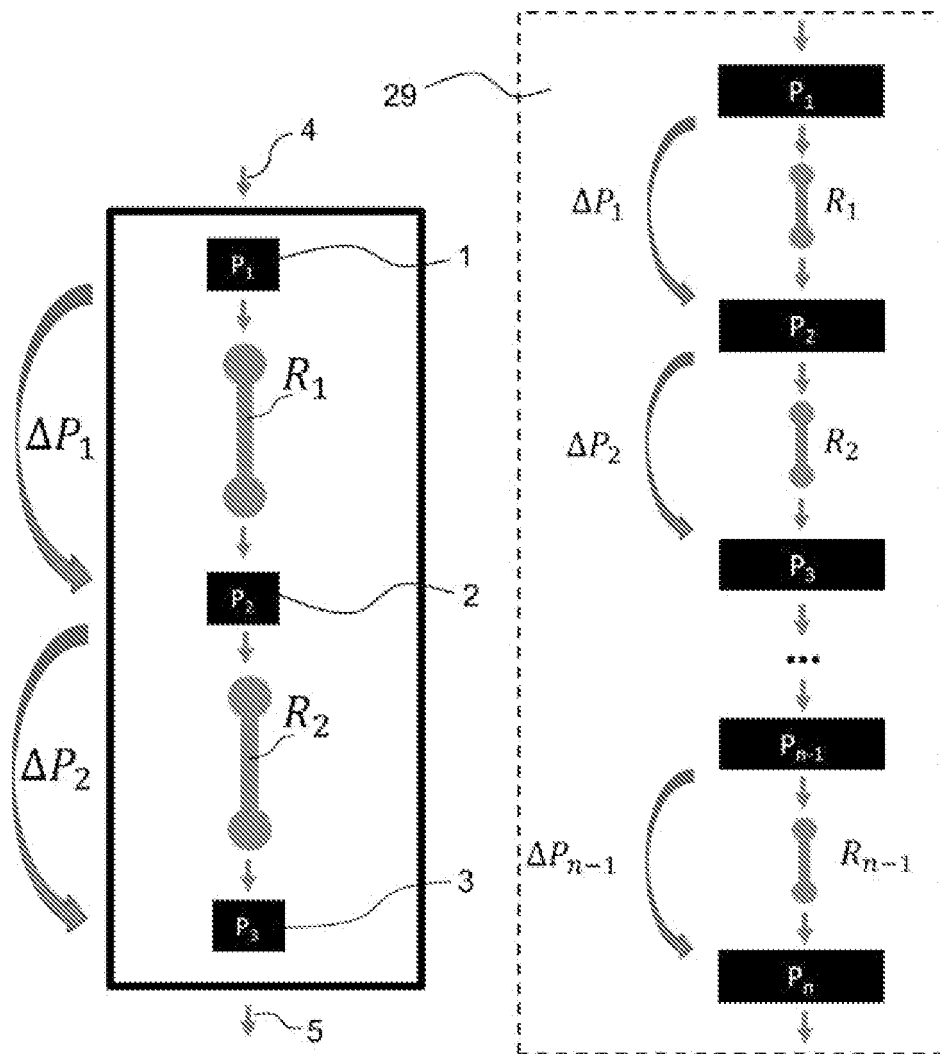
[Revendication 7]

Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'on détermine le plus grand sous ensemble de D_i tel que deux quelconques débits de ce sous-ensemble D_k et D_j présentent une différence proportionnelle de débit $\Delta D_{k,j}$ inférieure à ΔD_{seuil} et que le débit moyen D_{moyen} est alors calculé sur ce sous ensemble de débit.

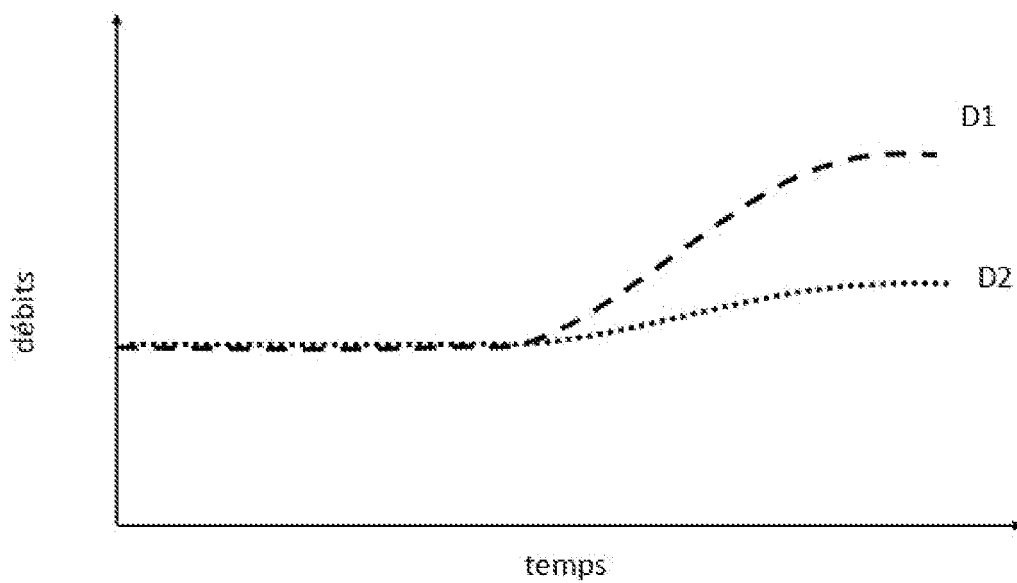
[Revendication 8]

Procédé selon la revendication 6 ou 7, caractérisé en ce que la valeur de débit moyen D_{moyen} du débit de liquide est utilisée par un sous ensemble de contrôle (26) d'un ordinateur (10) spécialement configuré pour engendrer une consigne de pression P utilisable pour réguler le débit de liquide.

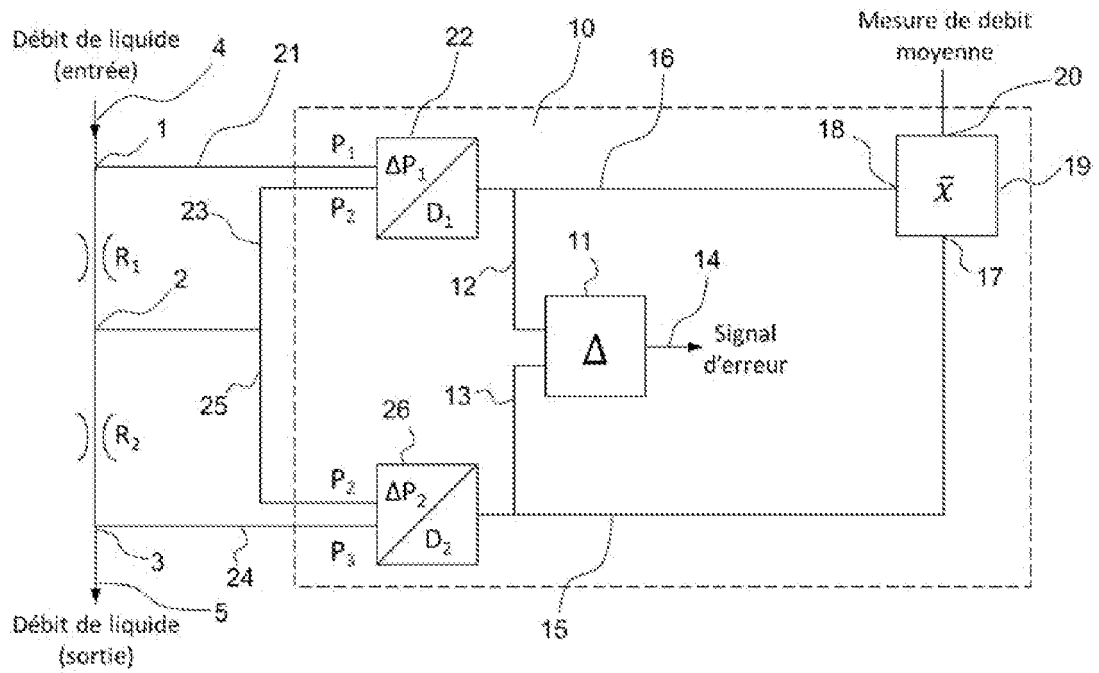
[Fig. 1a]



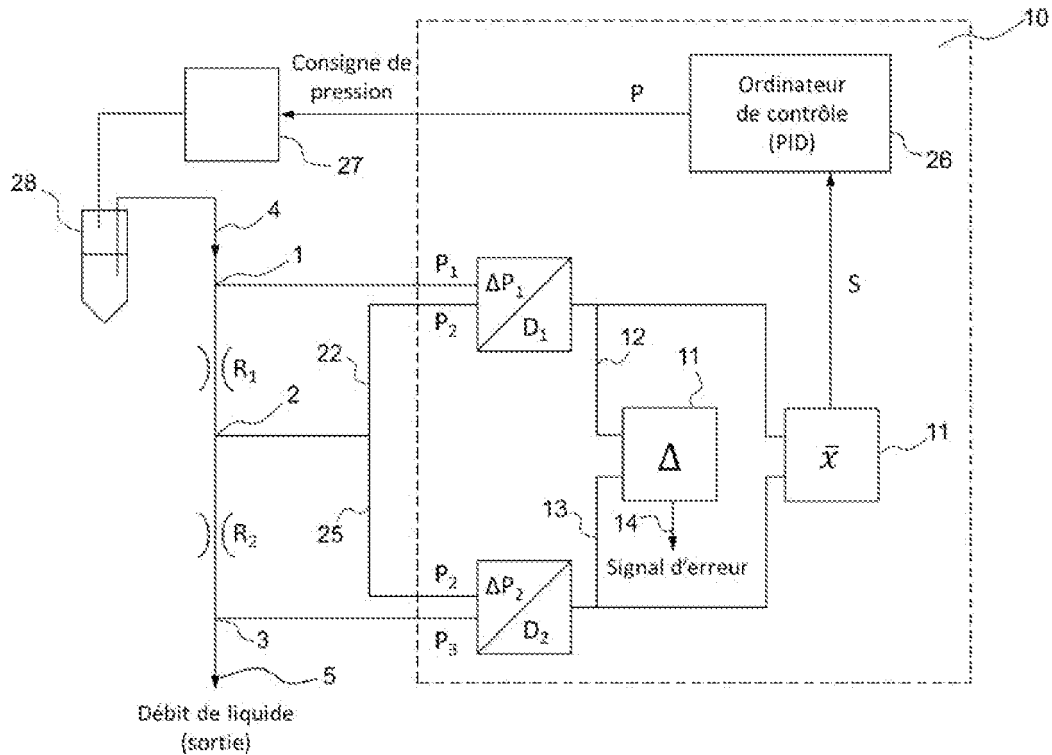
[Fig. 1b]



[Fig. 2]



[Fig. 3]



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**

US 2014/208833 A1 (BERGER STEFAN [CH] ET
AL) 31 juillet 2014 (2014-07-31)

EP 3 030 877 A1 (EATON CORP [US])
15 juin 2016 (2016-06-15)

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

US 2005/054111 A1 (BREIMESSER FRITZ [DE]
ET AL) 10 mars 2005 (2005-03-10)

US 2019/025100 A1 (LE BERRE MAËL [FR] ET
AL) 24 janvier 2019 (2019-01-24)

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

NEANT