

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
3 novembre 2011 (03.11.2011)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2011/134997 A1**

(51) Classification internationale des brevets :  
*G01L 7/20* (2006.01)    *G01L 7/18* (2006.01)  
*B01L 3/00* (2006.01)    *G01L 9/00* (2006.01)  
*B81B 1/00* (2006.01)

chemin de Craponoz, F-38190 Bernin (FR). **GAVILLET, Jérôme** [FR/FR]; 9 route de Grenoble, F-38120 Saint-egreve (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/EP2011/056656

(74) Mandataire : **ILGART, Jean-Christophe**; Brevalex, 95 rue d'Amsterdam, F-75378 Paris Cedex 8 (FR).

(22) Date de dépôt international :  
27 avril 2011 (27.04.2011)

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

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
10 53276    28 avril 2010 (28.04.2010)    FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :  
**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES** [FR/FR]; 25 rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D", F-75015 Paris (FR).

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **PHAN, Hai Trieu** [FR/FR]; 20 rue Diderot, F-38000 Grenoble (FR). **CORONEL, Philippe** [FR/FR]; 33 rue de la Chaille, F-38530 Barraux (FR). **FUGIER, Pascal** [FR/FR]; 639

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : DEVICE FORMING A MANOMETER INTENDED FOR MEASURING BIPHASE FLUID PRESSURE, ASSOCIATED METHOD OF MANUFACTURE AND FLUIDIC NETWORK

(54) Titre : DISPOSITIF FORMANT MANOMETRE DESTINE A LA MESURE DE PRESSION DE FLUIDE DIPHASIQUE, PROCEDE DE REALISATION ET RESEAU FLUIDIQUE ASSOCIES

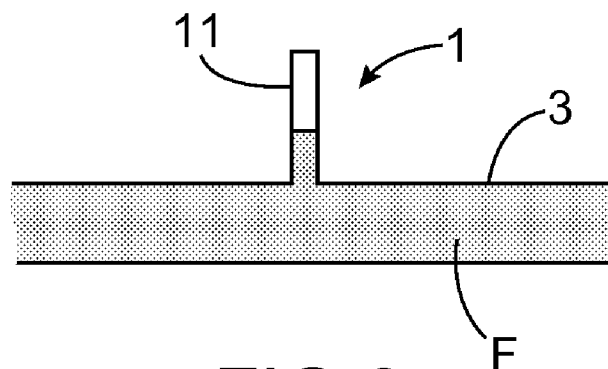


FIG. 6

(57) Abstract : The invention relates to a device forming a manometer, intended for measuring the pressure of a biphasic fluid in a fluidic network, comprising: a first channel (3) inside which a biphasic fluid is able to flow, a second channel (1) emerging onto the first channel, the second channel being blind, with each of its dimensions smaller than the capillary length of the liquid phase of the fluid, and with at least one of its longitudinal walls (11) exhibiting a surface energy gradient which decreases from its entry to the bottom, the surface energy gradient making it possible to increase the angle of wetting of the meniscus of the liquid phase of the fluid in the blind channel from its entry to the bottom. Application to the measurement of the pressure of a biphasic fluid in a heat exchanger or in a fuel cell.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



WO 2011/134997 A1



SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, **Publiée :**  
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

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

---

L' invention concerne un dispositif formant manomètre, destiné à la mesure de la pression d'un fluide diphasique dans un réseau fluïdique, comprenant : un premier canal ( 3 ) à l'intérieur duquel un fluide diphasique est apte à circuler, un deuxième canal ( 1 ) débouchant sur le premier canal, le deuxième canal étant borgne, avec chacune de ses dimensions inférieure à la longueur capillaire de la phase liquide du fluide, et avec au moins une des ses parois longitudinales ( 11 ) présentant un gradient d'énergie de surface décroissant depuis son entrée vers le fond, le gradient d'énergie de surface permettant d'augmenter l'angle de mouillage du ménisque de la phase liquide du fluide dans le canal borgne depuis son entrée vers le fond. Application à la mesure de la pression d'un fluide diphasique dans un échangeur thermique ou dans une pile à combustible.

**DISPOSITIF FORMANT MANOMETRE DESTINE A LA MESURE DE  
PRESSION DE FLUIDE DIPHASIQUE, PROCEDE DE REALISATION  
ET RESEAU FLUIDIQUE ASSOCIES**

**DOMAINE TECHNIQUE**

5 L'invention concerne un dispositif formant manomètre, destiné à mesurer la pression d'un fluide diphasique dans un réseau fluidique.

Elle a trait à une amélioration de la sensibilité d'un manomètre en permettant une diminution  
10 notoire des dimensions et son intégration dans un réseau fluidique.

Les applications particulièrement visées par l'invention sont les échangeurs thermiques à fluides diphasiques, la pile à combustible ou autre  
15 système impliquant l'utilisation d'un mélange diphasique fonctionnant autour de la pression atmosphérique.

**ART ANTERIEUR**

Dans des systèmes, tels qu'un échangeur  
20 thermique à fluide diphasique ou la pile à combustible, les phases liquide et vapeur d'un même fluide sont simultanément présentes dans le réseau fluidique supportant les échanges thermique et massique.

La pression du fluide, le rapport de flux  
25 massique entre les phases vapeur et liquide (titre) du fluide diphasique ainsi que leur distribution respective dans le réseau fluidique sont des paramètres

révélateurs, à chaque instant, de l'efficacité de fonctionnement du système.

Ainsi, la connaissance précise de ces paramètres, en temps réel et dans les points critiques  
5 du réseau fluide, tels que les points chauds, les points d'assèchement, les points d'engorgement, pourrait permettre de prévenir un dysfonctionnement/détérioration ou de corriger/ajuster le régime de fonctionnement des systèmes.

10 Autrement dit, il serait souhaitable de pouvoir intégrer des dispositifs de mesure précis de ces paramètres plus particulièrement de la pression, directement dans les réseaux fluidiques de systèmes évoqués ci-dessus, sans nuire à leur fonctionnement ou  
15 à leur compacité.

Il est connu de mesurer la pression d'un liquide à l'aide d'un manomètre.

En particulier, il est connu de mesurer la pression d'un liquide en mesurant le déplacement d'un  
20 ménisque du liquide dans un tube capillaire.

Le brevet US 4, 404, 855 propose la mesure d'un différentiel de pression par mesure du déplacement d'un ménisque de liquide à l'interface avec une bulle d'air injectée par une seringue afin d'augmenter d'un  
25 facteur  $10^4$  la sensibilité de mesure. Les dimensions du dispositif de mesure ainsi proposé sont macroscopiques et ne permettent pas son intégration dans un réseau fluide d'un système compact. En outre, le déplacement minimum du ménisque qui peut être observé  
30 est de l'ordre de 0,1 mm et nécessite l'utilisation de

moyens optiques extérieurs à l'élément sensible du manomètre à proprement parler.

Le but de l'invention est alors de proposer une solution permettant d'intégrer un dispositif de mesure précis de la pression d'un fluide diphasique dans un réseau fluidique d'un système, tel qu'un échangeur thermique ou une pile à combustible sans nuire au fonctionnement de celui (celle)-ci ni à sa compacité.

## 10 **EXPOSÉ DE L'INVENTION**

Pour ce faire, l'invention a pour objet un dispositif formant manomètre, destiné à la mesure de la pression d'un fluide diphasique dans un réseau fluidique, comprenant :

- 15 - un premier canal à l'intérieur duquel un fluide diphasique est apte à circuler,
- un deuxième canal débouchant sur le premier canal, le deuxième canal étant borgne, avec chacune de ses dimensions inférieure à la longueur capillaire de la phase liquide du fluide, et avec sa paroi longitudinale présentant un gradient d'énergie de surface décroissant depuis son entrée vers le fond, le gradient d'énergie de surface permettant d'augmenter l'angle de mouillage du ménisque de la phase liquide du fluide dans le canal borgne depuis son entrée vers le fond.

La longueur capillaire est une dimension caractéristique d'un liquide sur laquelle les forces capillaires et les forces gravitationnelles sont de même grandeurs. Pour l'eau, la longueur capillaire  $l_c$

et le volume capillaire  $V_c$  ont pour valeur respectivement :

$$l_c \sim \sqrt{\frac{\sigma}{\rho \cdot g}} \sim 2.7 \text{ mm}$$

et

5 
$$v_c \sim \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \left(\frac{l_c}{2}\right)^3 \sim 10 \text{ } \mu\text{L}.$$

Ainsi, dans le cadre de l'invention, pour un liquide donné, chacune des dimensions constituées par le diamètre hydraulique et la longueur du canal borgne est inférieure à la longueur capillaire du  
10 liquide.

Ainsi, selon l'invention la réalisation d'un canal borgne connecté directement à un canal (canal principal) d'un réseau fluide et l'ajout d'un gradient d'énergie de surface le long de sa paroi  
15 longitudinale permet de localiser précisément un ménisque de liquide à l'interface avec la phase vapeur.

Le déplacement de ce ménisque est dépendant de la pression du fluide en entrée du canal borgne.

Les inventeurs sont en effet partis du  
20 constat que dans un manomètre à liquide le déplacement du ménisque à l'interface avec une bulle d'air sous l'effet d'une pression était influencé par le mouillage du liquide en contact avec les parois du tube capillaire.

25 Ils ont donc cherché à étudier plus précisément cette influence à partir d'un canal borgne dans lequel sont simultanément présents un fluide en

phase liquide et en phase vapeur. De l'air peut aussi être présent dans la phase gazeuse.

Cette configuration est représentée en figure 1.

5 La relation d'équilibre de force peut ainsi s'écrire de la manière suivante :

$$P_{\text{liquide}} - P_{\text{gaz}} = \frac{2(H+W)}{HW} \sigma \cos\theta_e \quad (1)$$

dans laquelle :

$P_{\text{liquide}}$  est la pression du liquide ;

10  $P_{\text{gaz}}$  est la pression du gaz ;

$W$  la largeur du canal borgne ;

$H$  est la hauteur du canal borgne ;

$\sigma$  est la constante de tension superficielle de l'eau ( $\sim 72 \text{ mJ/m}^2$ );

15  $\theta_e$  est l'angle de mouillage de l'eau sur la paroi longitudinale 11 du canal borgne 1.

Cette équation s'écrit de manière différente :

$$\Delta P = \frac{4}{D_h} \sigma \cos\theta_e \quad (2)$$

20 où  $\Delta P = P_{\text{liquide}} - P_{\text{gaz}}$  et  $D_h$  est le diamètre hydraulique qui est défini par :

$$D_h = \frac{2HW}{(H+W)} \quad (3)$$

La pression du gaz piégé dans la cavité 10 peut être déterminée par l'équation des gaz parfaits :

25

$$P_{gaz} = \frac{L_1}{L_1 - y} P_{atm} \tag{4}$$

dans laquelle  $P_{atm}$  est la pression atmosphérique,  
 $L_1$  est la distance entre un ménisque plat ( $\cos\theta_e = 1$ ) et  
 le fond de la cavité  $l_0$  ;  
 et  $y$  la position du ménisque de liquide (eau) à  
 5 l'interface avec le gaz.

On peut considérer que l'effet de mouillage  
 est significatif si les deux termes de l'équation (2)  
 sont de même ordre de grandeur.

La figure 2 montre la courbe représentative  
 10 de la différence de pression en fonction du diamètre  
 hydraulique. La zone située au-dessus de cette courbe  
 est la zone de faible sensibilité du mouillage, alors  
 que celle en-dessous est de forte sensibilité du  
 mouillage. Par exemple, à un diamètre hydraulique de  
 15  $2 \mu\text{m}$ , l'effet du mouillage est significatif si la  
 différence de pression est inférieure à 1,1 bar.

Les inventeurs ont alors étudié l'influence  
 de l'angle de contact (angle de mouillage) sur le  
 déplacement  $y$  du ménisque de liquide à l'interface avec  
 20 le gaz.

En considérant que l'angle de contact est  
 constant, c'est-à-dire en écrivant la relation

$$\cos\theta_e = K \tag{5'}$$

On a la relation :

$$P - \frac{L_1}{L_1 - y} P_{atm} = \frac{4}{D_h} \sigma K \tag{5}$$

D'où :

$$y = L_1 \left( 1 - \frac{P_{atm}}{P - \frac{4}{D_h} \sigma K} \right) \quad (6)$$

On a illustré en figures 3A à 3C, trois configurations d'angle de contact du liquide différents de valeur respectivement de  $20^\circ$ ,  $90^\circ$  et  $120^\circ$  et où les dimensions caractéristiques  $H$ ,  $L_1$  et  $L_2$  sont montrées.

5

En considérant une variation linéaire du cosinus de l'angle de contact le long de la paroi longitudinale du canal borgne, on a

$$\cos\theta_e = K_1 y \quad (7)$$

10

avec

$$K_1 = \frac{\cos\theta_{\max}}{L_1} = \frac{-\cos\theta_{\min}}{L_2} = \frac{\cos\theta_{\max} - \cos\theta_{\min}}{L_1 + L_2} \quad (8)$$

En remplaçant (2) et (3) dans (1), on a la relation :

15

$$P - \frac{L_1}{L_1 - y} P_{atm} = \frac{4}{D_h} \sigma K_1 y \quad (9)$$

$$P(L_1 - y) - L_1 P_{atm} = \frac{4}{D_h} \sigma K_1 (L_1 y - y^2) \quad (10)$$

$$y^2 - \left( L_1 + \frac{P}{\frac{4}{D_h} \sigma K_1} \right) y + \frac{(P - P_{atm})L_1}{\frac{4}{D_h} \sigma K_1} = 0 \quad (11)$$

$$y^2 + G_1 y + G_2 = 0 \quad (12)$$

avec

$$G_1 = - \left( L_1 + \frac{P}{\frac{4}{D_h} \sigma K_1} \right) \quad (13)$$

$$G_2 = \frac{(P - P_{atm})L_1}{\frac{4}{D_h} \sigma K_1} \quad (14)$$

$K_1 < 0$ .

Ainsi, on a la relation

$$y = \frac{-G_1 + \sqrt{G_1^2 - 4G_2}}{2} \quad (15)$$

5

En considérant une variation du deuxième ordre du cosinus de l'angle de contact le long de la paroi longitudinale du canal borgne, on a

$$\cos\theta_e = K_2 y^2 \quad (16)$$

10

$$\text{avec } K_2 = \frac{\cos\theta_{\max}}{L_1^2} \quad (17)$$

Ainsi, pour la position  $y$  du ménisque on obtient la relation :

$$y^3 - L_1 y^2 - \frac{P}{\frac{4}{D_h} \sigma K_2} y + \frac{(P - P_{atm})L_1}{\frac{4}{D_h} \sigma K_2} = 0 \quad (18)$$

15

Les inventeurs ont alors réalisé une étude comparée en choisissant l'exemple numérique suivant :

- plage de pression d'étude de 1 à 2 bar pour avoir une grande sensibilité du mouillage,

-  $L_1 = L_2 = 100 \mu\text{m}$ ,

20

- profondeur et largeur de canal

$H = W = 1 \mu\text{m}$ ,

- angle  $\theta_e$  variant de  $0^\circ$  depuis l'entrée du canal borgne à  $90^\circ$  sur la longueur L2,

- angle  $\theta_e$  variant de  $90^\circ$  à  $150^\circ$  sur la longueur L1 au fond du canal borgne.

5 La figure 4A montre la courbe représentative du cosinus de l'angle  $\theta_e$  en fonction de la position y du ménisque liquide.

La figure 4B montre la courbe représentative de la position du ménisque y en fonction de la pression P.

10 La figure 4C montre la courbe représentative de la sensibilité de déplacement du ménisque en fonction de la pression P.

Ainsi, à partir de cette étude, les inventeurs sont parvenus à la conclusion qu'en faisant varier l'angle de mouillage (angle de contact) on pouvait très fortement augmenter la sensibilité de mesure d'un manomètre dont le principe de mesure est la position d'un ménisque liquide.

20 Autrement dit, les inventeurs ont en conclu que l'utilisation d'un gradient d'énergie de surface permet d'augmenter la sensibilité de mesure d'un manomètre par rapport à une surface hydrophobe à énergie de surface constante. En outre, ils ont conclu que cette augmentation de sensibilité de mesure est encore plus importante avec un gradient de cosinus d'angle de 2<sup>ème</sup> ordre comparativement à un gradient de cosinus linéaire.

Ainsi, un dispositif selon l'invention peut être, du fait de sa grande sensibilité de mesure, de dimensions microscopiques pour des variations de

30

pression relativement minimales, typiquement de l'ordre de 1 bar. Il peut donc être intégré dans un réseau de fluide sans nuire à sa compacité ni à son fonctionnement.

5                    Pour réaliser le gradient d'énergie de surface sur au moins l'une des parois longitudinales, on peut jouer sur plusieurs paramètres tels que la variation de la composition chimique du matériau en surface de la ou des paroi(s) longitudinale(s) ou la  
10 variation de la structuration de la ou des paroi(s) longitudinale(s). Ladite variation de structuration de nature micro ou nanométrique relève d'une variation soit de la forme (profondeur, largeur) des cavités, soit de la densité desdites cavités soit de la forme et  
15 de la densité des cavités formant structuration de surface desdites parois. On peut ainsi principalement envisager trois solutions comme suit :

- une composition chimique uniforme et une structure de surface à gradient de profondeur croissant  
20 depuis l'entrée du canal borgne vers le fond,

- une composition à gradient chimique depuis l'entrée du canal borgne vers le fond et une structure de surface uniforme,

- une composition à gradient chimique et  
25 une structure de surface à gradient de profondeur depuis l'entrée du canal borgne vers le fond uniforme.

Pour un dispositif de dimensions microscopiques à intégrer dans une pile à combustible ou échangeur thermique à fluide diphasique, les  
30 dimensions transversales (ou diamètre hydraulique) du canal borgne peuvent être comprises entre 50 nm et

5  $\mu\text{m}$ , pour mesurer une variation de pression supérieure à 0.5 bar (Figure 2).

La longueur du canal borgne peut être comprise entre 50 nm et 500  $\mu\text{m}$ .

5 Le canal borgne peut être de section transversale sensiblement rectangulaire, c'est-à-dire une forme rectangulaire ou assimilable, avec/sans arête (polygonale/ovoïdal).

On prévoit avantageusement d'intégrer en  
10 partie dans le canal borgne les moyens de mesure de la position du ménisque de liquide dans le canal borgne pour déterminer la pression du fluide.

Dans un mode de réalisation avantageux, ces  
moyens de mesure comprennent deux électrodes agencées  
15 sur deux parties de parois longitudinales en regard l'une de l'autre et s'étendant chacune de l'entrée au fond du canal borgne, les électrodes formant avec un fluide diphasique présent dans le canal borgne un condensateur à capacitance variable.

20 La mesure de pression est déterminée par la position du ménisque liquide à l'équilibre dans le canal borgne. Le ménisque définit un rapport de volume liquide/vapeur variable dans le canal selon sa position. Ce rapport de volume, ou sa variation, peut  
25 être apprécié par une mesure électrique de la capacité moyenne du fluide diphasique dans le canal.

L'utilisation des deux électrodes en vis-à-vis permet de mesurer la capacitance du fluide.

En figure 5, on a représenté une  
30 implantation de deux électrodes 20, 21 agencées en

parallèle l'une de l'autre en haut et en bas du canal borgne 1.

La distance entre les deux électrodes est proche de la profondeur du diamètre hydraulique du manomètre.

La longueur et la largeur des électrodes sont celles du manomètre. La capacitance totale est la somme de la capacitance de la phase vapeur et de la phase liquide du fluide diphasique

10

$$C_t = C_l + C_v \quad (20)$$

avec

$$C_l = \epsilon_0 \epsilon_l \frac{W(L/2 + y)}{H} \quad (21)$$

$$C_v = \epsilon_0 \epsilon_v \frac{W(L/2 - y)}{H} \quad (22)$$

relations dans lesquelles  $\epsilon_0$  est la permittivité absolue du vide,  $\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12}$  F/m ;  $\epsilon_l$  et  $\epsilon_v$  sont respectivement les permittivité relatives dans l'eau et dans l'air.

Ainsi, la capacitance totale est donnée par la relation :

$$C_t = \frac{W}{H} \epsilon_0 (\epsilon_l + \epsilon_a) \frac{L}{2} + \frac{W}{H} \epsilon_0 (\epsilon_l - \epsilon_a) y \quad (19)$$

20

La capacitance totale, en fonction du rapport entre les dimensions transversales (W/H) du canal borgne, est représentée sur les figures 12A et 12B. Les figures 12C et 12D montrent que la sensibilité de mesure sera d'autant plus grande que ce rapport est

25

important. Dans le cas pratique, ce rapport est supérieur à 1.

Bien évidemment, l'homme de l'art tiendra compte de l'évolution de la permittivité relative de la phase liquide, telle que l'eau en fonction de la température.

L'invention concerne également un procédé de réalisation d'un dispositif formant manomètre décrit ci-dessus, selon lequel on réalise les étapes suivantes :

a/ réalisation d'une première partie longitudinale d'un canal borgne dans une plaque de substrat comprenant une première portion d'un canal principal à l'intérieur duquel un fluide diphasique est apte à circuler,

b/ réalisation d'un gradient d'énergie de surface sur la première partie du canal borgne,

c/ réalisation d'une deuxième partie longitudinale du canal borgne dans une autre plaque de substrat comprenant une deuxième portion d'un canal principal à l'intérieur duquel un fluide diphasique est apte à circuler, la première et la deuxième parties longitudinales du canal borgne étant de longueur identique,

d/ report d'une plaque de substrat sur l'autre avec alignement des deux parties longitudinales du canal borgne et des deux portions du canal principal,

e/ fermeture des deux plaques de substrat entre elles.

Pour réaliser une composition à gradient chimique selon les étapes b/ et d/, on peut le faire par un procédé dit procédé SAM (procédé d'auto-assemblage des molécules, en anglais « SELF-ALIGNED-  
5 MOLECULES ») et déposer tout d'abord une couche de molécules hydrophobes sur la surface du canal. La couche hydrophobe est ensuite partiellement retirée par un plasma ou une ablation laser afin de découvrir localement un substrat hydrophile. L'inverse est  
10 également envisageable : une couche de molécule hydrophile sur un substrat hydrophobe.

Le contrôle du design de gravure/ablation permet ainsi de réaliser un gradient chimique de surface. Le gradient peut aussi être obtenu par  
15 évaporation d'une molécule fonctionnalisée.

Selon une variante de réalisation, au préalable de l'étape d/, on réalise un même gradient d'énergie de surface sur la deuxième partie longitudinale du canal borgne.

20 Pour intégrer les électrodes en tant que moyens de mesure, au préalable de chacune des étapes b/ et d/, on réalise avantageusement un dépôt d'une couche mince métallique constituant une électrode dans chaque partie longitudinale de canal borgne. L'électrode peut  
25 être déposée en couche mince par une technique de dépôt sous vide de type PVD d'un métal tel que Ti, Cu,...

Dans le cas où la plaque est conductrice, l'élément de connexion électrique avec les électrodes peut être réalisé en face arrière. Dans le cas  
30 contraire, un chemin de contact peut être réalisé en même temps et selon le même procédé que l'électrode.

Selon les configurations de plaques conductrices ou non, il est également possible de prévoir une ou plusieurs couches électroniquement isolantes (Ex. SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>,...) afin d'isoler électriquement le condensateur constitué par les électrodes et le fluide diphasique.

L'invention concerne également un réseau fluide intégrant un ou plusieurs dispositifs formant manomètres décrit précédemment.

L'invention concerne également une pile à combustible comprenant un tel réseau fluide, au moins un des manomètres étant adapté pour mesurer la pression de l'eau produite à la cathode ou à l'anode.

L'invention concerne enfin un échangeur thermique à fluide diphasique susceptible de passer d'une phase liquide à une phase vapeur comprenant un tel réseau fluide, au moins un des manomètres étant adapté pour mesurer la pression du fluide.

#### **BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS**

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention ressortiront mieux à la lecture de la description détaillée faite à titre illustratif et non limitatif en référence aux figures suivantes parmi lesquelles :

- la figure 1 représente en vue de coupe schématique longitudinale un canal borgne 1 d'un dispositif selon l'invention,

- la figure 2 montre la courbe représentative de l'évolution des variations de

pression en fonction du diamètre hydraulique d'un canal borgne d'un dispositif selon l'invention,

- les figures 3A à 3C représentent en vue de coupe longitudinale d'un canal borgne d'un dispositif selon l'invention, trois configurations d'angle de contact différentes,

- la figure 4A montre la courbe représentative du cosinus de l'angle  $\theta_e$  en fonction de la position  $y$  du ménisque liquide dans le canal borgne,

- la figure 4B montre la courbe représentative de la position du ménisque  $y$  en fonction de la pression  $P$ ,

- la figure 4C montre la courbe représentative de la sensibilité de déplacement du ménisque en fonction de la pression  $P$ ,

- la figure 5 montre l'implantation de deux électrodes en tant que moyens de mesure de la position du ménisque liquide dans le canal borgne d'un dispositif selon l'invention,

- la figure 6 est une représentation schématique d'un dispositif selon l'invention,

- les figures 7 à 11B montrent différentes étapes de réalisation d'un canal borgne d'un dispositif selon l'invention,

- les figures 12A à 12D montrent les différentes courbes représentatives de l'évolution de la capacitance d'un fluide diphasique en fonction de la pression et de la position du ménisque liquide respectivement dans un canal borgne du dispositif selon l'invention et selon la valeur du rapport entre dimensions du canal borgne.

**EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS**

Les figures 1 à 5 ont été commentées en préambule, elles ne sont donc pas commentées ici.

Le dispositif formant manomètre selon l'invention est destiné à la mesure de pression d'un fluide diphasique F.

Il comprend un canal borgne 1 débouchant sur un canal principal 3 d'un réseau fluide, ouvert ou fermé, au travers duquel circule un fluide diphasique F. Ce canal borgne 1 fait ainsi partie intégrante du réseau.

Chacune des dimensions (longueur, profondeur, largeur) du canal borgne 1 est inférieure à la longueur capillaire de la phase liquide du fluide.

Au moins l'une des parois longitudinales 11 du canal borgne 1 présente un gradient d'énergie de surface décroissant depuis son entrée vers le fond.

Ainsi, selon l'invention, le gradient d'énergie de surface permet d'augmenter l'angle de mouillage du ménisque de la phase liquide du fluide dans le canal borgne 1 depuis son entrée vers le fond.

On a représenté aux figures 7 à 11B différentes étapes de réalisation d'un dispositif.

On réalise d'une première partie 110 longitudinale d'un canal borgne dans une plaque de substrat 4 comprenant une première portion 30 d'un canal principal à l'intérieur duquel un fluide diphasique est apte à circuler.

On dépose une couche métallique pour réaliser une électrode 20 avec sa prise de contact 200 sur la première partie 110. Puis, on réalise un

gradient d'énergie de surface 112 en surface de la couche d'électrode 20 (vue de dessus de la figure 7 et vues en coupe des figures 8A à 11B).

On réalise de même une deuxième partie longitudinale 111 du canal borgne dans une autre plaque de substrat 5 comprenant une deuxième portion d'un canal principal à l'intérieur duquel un fluide diphasique est apte à circuler. On dépose de même une couche métallique pour réaliser une électrode 21 avec sa prise de contact puis on réalise un gradient d'énergie de surface identique sur la deuxième partie 111 du canal borgne 1.

La première 111 et la deuxième 110 parties longitudinales du canal borgne sont de longueur identique.

On effectue alors un report d'une plaque de substrat 5 sur l'autre 4 avec alignement des deux parties longitudinales 110, 111 du canal borgne et des deux portions du canal principal (figure 8A, 9A, 10A, 11A).

Enfin, on réalise l'étape de fermeture des deux plaques de substrat 4, 5 entre elles (figure 8B, 9B, 10B, 11B).

En ce qui concerne la réalisation du gradient d'énergie, différentes approches sont envisageables telles que deux gradients identiques en regard l'un de l'autre (figures 8A et 8B).

Alternativement, on peut envisager qu'une des parois ne présente pas de gradient mais soit d'énergie de surface constante soit hydrophile, soit hydrophobe (figures 9A, 9B dans lesquelles la première

partie 110 du canal borgne est dépourvue de gradient d'énergie et figures 10A et 10B dans lesquelles la deuxième partie 111 qui est reportée est dépourvue de gradient d'énergie).

5                   On peut aussi envisager qu'une paroi longitudinale présente un gradient d'énergie de surface donné et l'autre paroi longitudinale en regard présente un gradient d'énergie de surface différent (figures 11A et 11B dans lesquelles la première partie 110 du canal  
10 présente un gradient d'énergie de surface 112 tandis que la deuxième partie 111 présente un gradient d'énergie de surface 112' différent).

Les courbes en figures 12A et 12B montrent la variation de la capacitance totale avec la pression et la position du ménisque d'eau (phase liquide) à  
15 l'interface avec de l'air et de la vapeur d'eau (phase gazeuse) respectivement dans un canal borgne selon le rapport entre dimensions entre dimensions transversales (W/H).

20                   Bien que décrite en relation avec un fluide diphasique dont la phase liquide est l'eau et la phase vapeur est l'air et la vapeur d'eau, l'invention peut s'appliquer à bien d'autres fluides diphasiques.

De même, d'autres procédés de réalisation  
25 peuvent être envisagés pour réaliser le canal borgne du dispositif selon l'invention. On peut ainsi prévoir un usinage mécanique d'un substrat en aluminium ou acier, une lithographie et gravure d'un substrat silicium ou une réplique par injection ou embossage d'un  
30 substrat en polymère.

**REVENDICATIONS**

1. Dispositif formant manomètre, destiné à la mesure de la pression d'un fluide diphasique dans un réseau fluidique, comprenant :

5                   - un premier canal (3) à l'intérieur duquel un fluide diphasique est apte à circuler,

                  - un deuxième canal (1) débouchant sur le premier canal, le deuxième canal étant borgne, avec chacune de ses dimensions inférieure à la longueur  
10 capillaire de la phase liquide du fluide, et avec au moins une des parois longitudinales (11) présentant un gradient d'énergie de surface décroissant depuis son entrée vers le fond, le gradient d'énergie de surface permettant d'augmenter l'angle de mouillage du ménisque  
15 de la phase liquide du fluide dans le canal borgne depuis son entrée vers le fond.

2. Dispositif formant manomètre selon la revendication 1, dans lequel ladite au moins une paroi  
20 longitudinale présente une variation de sa structuration de surface depuis l'entrée du canal borgne vers le fond.

3. Dispositif formant manomètre selon la revendication 1, dans lequel ladite au moins une paroi  
25 longitudinale présente une variation de sa composition chimique de surface depuis l'entrée du canal borgne vers le fond.

4. Dispositif formant manomètre selon la revendication 1, dans lequel ladite au moins une paroi longitudinale présente une variation de sa structuration de surface et une variation de sa composition chimique de surface depuis l'entrée du canal borgne vers le fond uniforme.

5. Dispositif formant manomètre selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les dimensions transversales du canal borgne sont comprises entre 50 nm et 5  $\mu\text{m}$ .

6. Dispositif formant manomètre selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le rapport entre les dimensions transversales (W/H) du canal borgne est supérieur à 1.

7. Dispositif formant manomètre selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la longueur du canal borgne est comprise entre 50 nm et 500  $\mu\text{m}$ .

8. Dispositif formant manomètre selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le canal borgne est de section transversale sensiblement rectangulaire.

9. Dispositif formant manomètre selon l'une des revendications précédentes, comprenant des moyens de mesure de la position du ménisque de liquide dans le canal borgne pour déterminer la pression du fluide, lesdits moyens de mesure étant intégrés en partie dans le canal borgne.

10. Dispositif formant manomètre selon la revendication 9, dans lequel les moyens de mesure comprennent deux électrodes agencées sur deux parties de parois longitudinales en regard l'une de l'autre et s'étendant chacune de l'entrée au fond du canal borgne, les électrodes formant avec le fluide diphasique dans le canal borgne un condensateur à capacitance variable.

11. Procédé de réalisation d'un dispositif formant manomètre, selon lequel on réalise les étapes suivantes :

a/ réalisation d'une première partie longitudinale (110) d'un canal borgne dans une plaque de substrat (4) comprenant une première portion (30) d'un canal principal à l'intérieur duquel un fluide diphasique est apte à circuler,

b/ réalisation d'un gradient d'énergie de surface sur la première partie du canal borgne,

c/ réalisation d'une deuxième partie longitudinale (111) du canal borgne (1) dans une autre plaque de substrat (5) comprenant une deuxième portion d'un canal principal à l'intérieur duquel un fluide diphasique est apte à circuler, la première et la deuxième parties longitudinales du canal borgne étant de longueur identique,

d/ report d'une plaque de substrat sur l'autre avec alignement des deux parties longitudinales du canal borgne et des deux portions du canal principal,

e/ fermeture des deux plaques de substrat entre elles.

12. Procédé de réalisation selon la revendication 11, selon lequel au préalable de l'étape d/, on réalise un même gradient d'énergie de surface sur la deuxième partie longitudinale du canal borgne.

5

13. Procédé de réalisation selon la revendication 12, selon lequel au préalable de chacune des étapes b/ et d/, on réalise un dépôt d'une couche mince métallique constituant une électrode dans chaque partie longitudinale de canal borgne.

10

14. Réseau fluide intégrant un ou plusieurs dispositifs formant manomètres selon l'une des revendications 1 à 10.

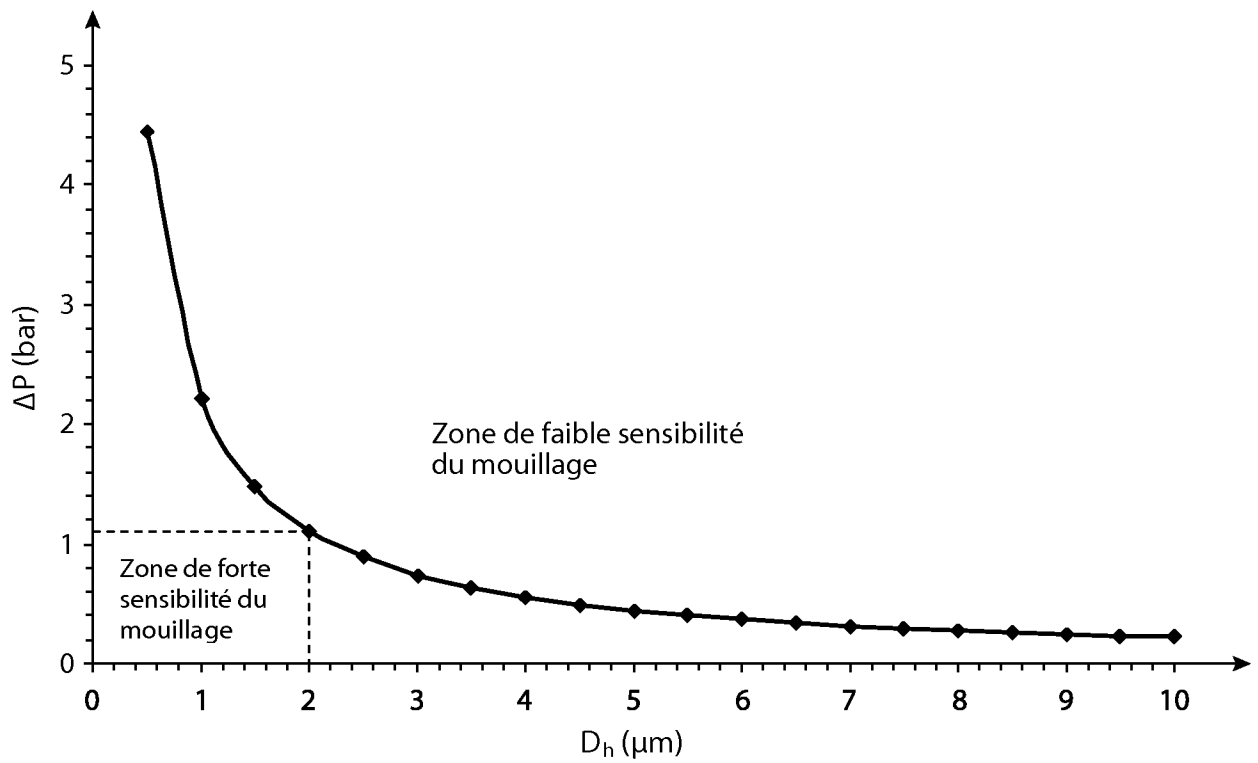
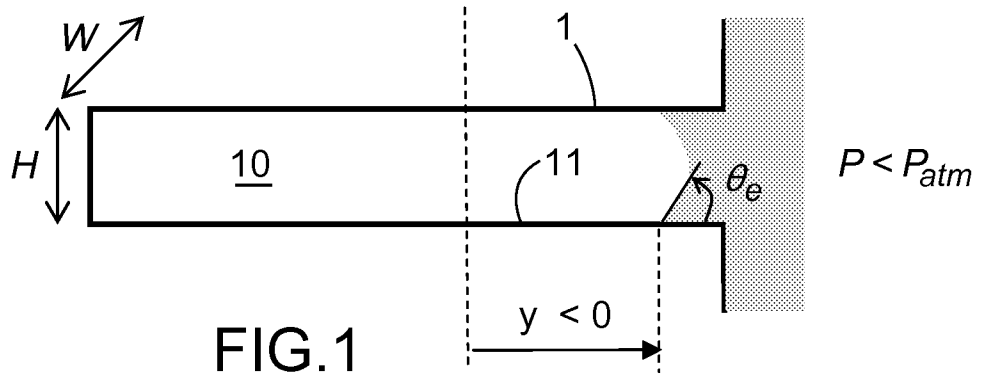
15

15. Pile à combustible comprenant un réseau fluide selon la revendication 14, au moins un des manomètres étant adapté pour mesurer la pression de l'eau à la cathode ou à l'anode.

20

16. Echangeur thermique à fluide diphasique susceptible de passer d'une phase liquide à une phase vapeur comprenant un réseau fluide selon la revendication 14, au moins un des manomètres étant adapté pour mesurer la pression du fluide.

25



2/7

FIG.3A

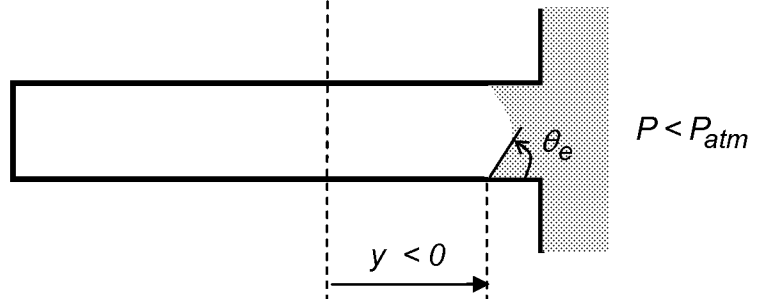


FIG.3B

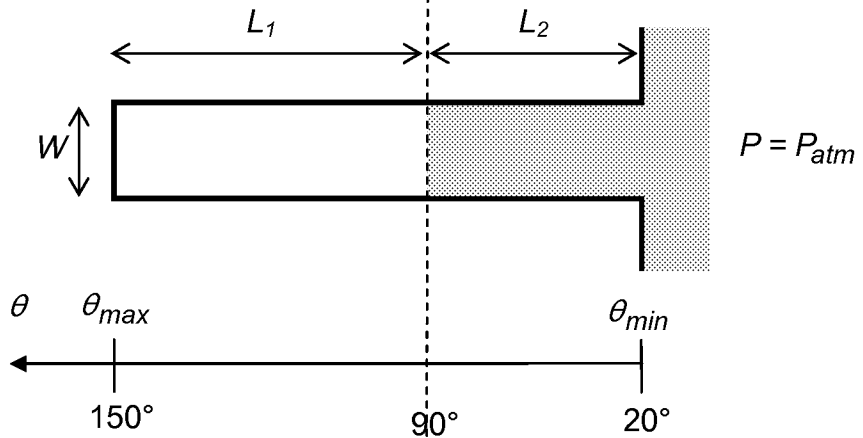


FIG.3C

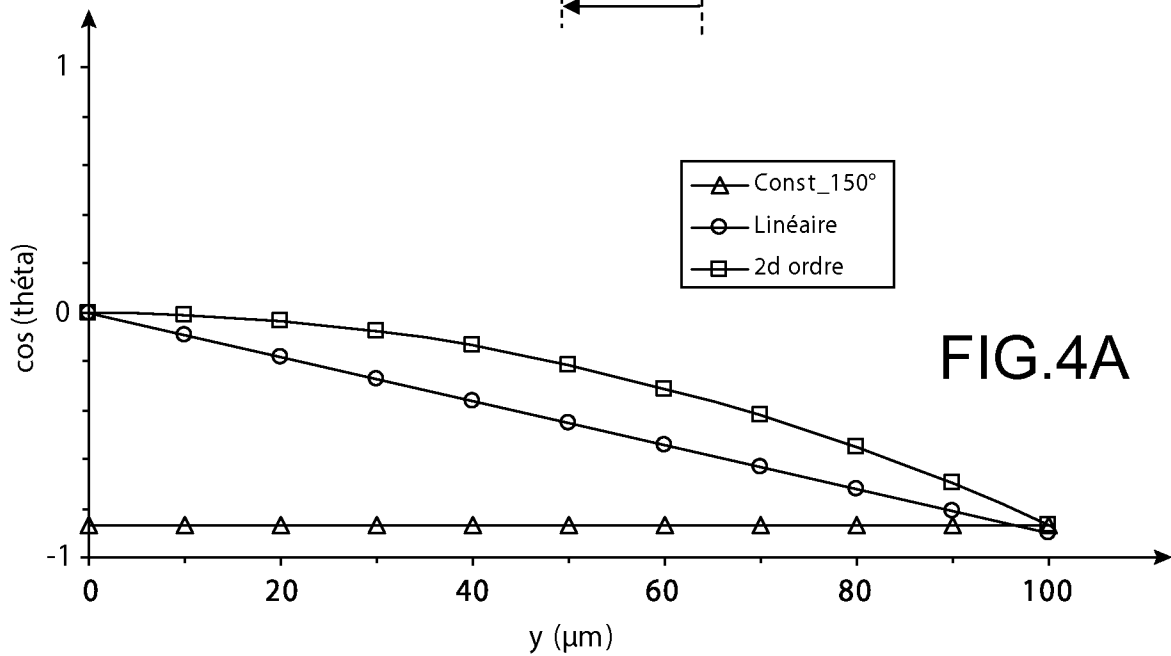
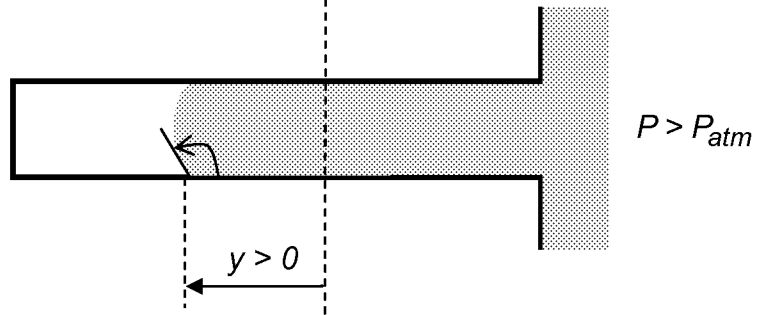


FIG.4A

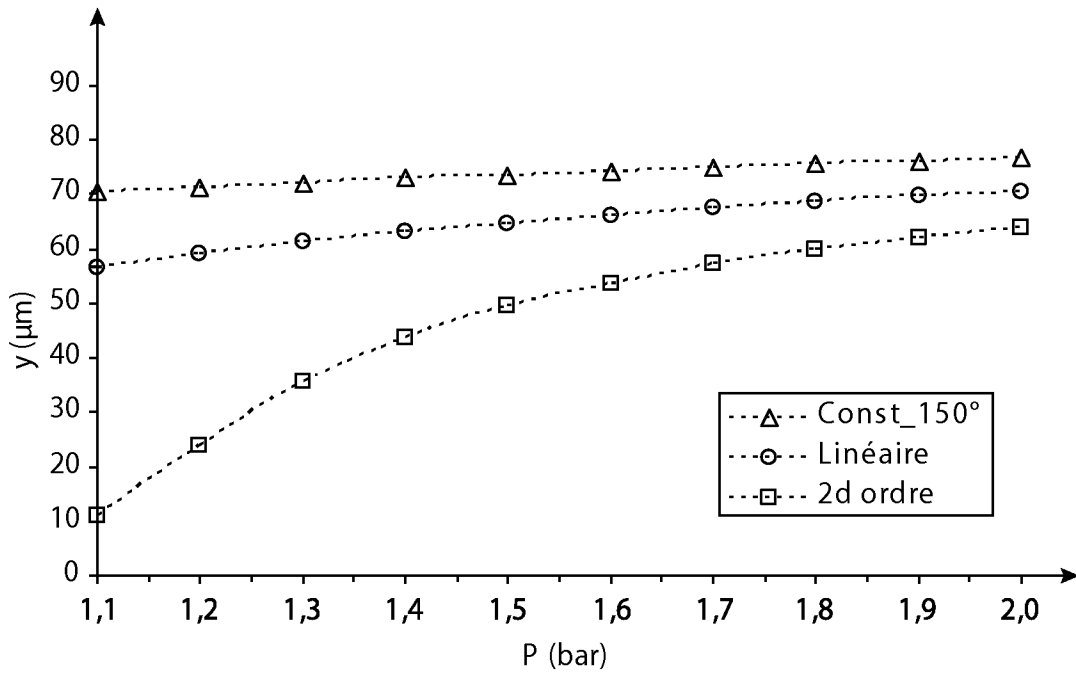


FIG.4B

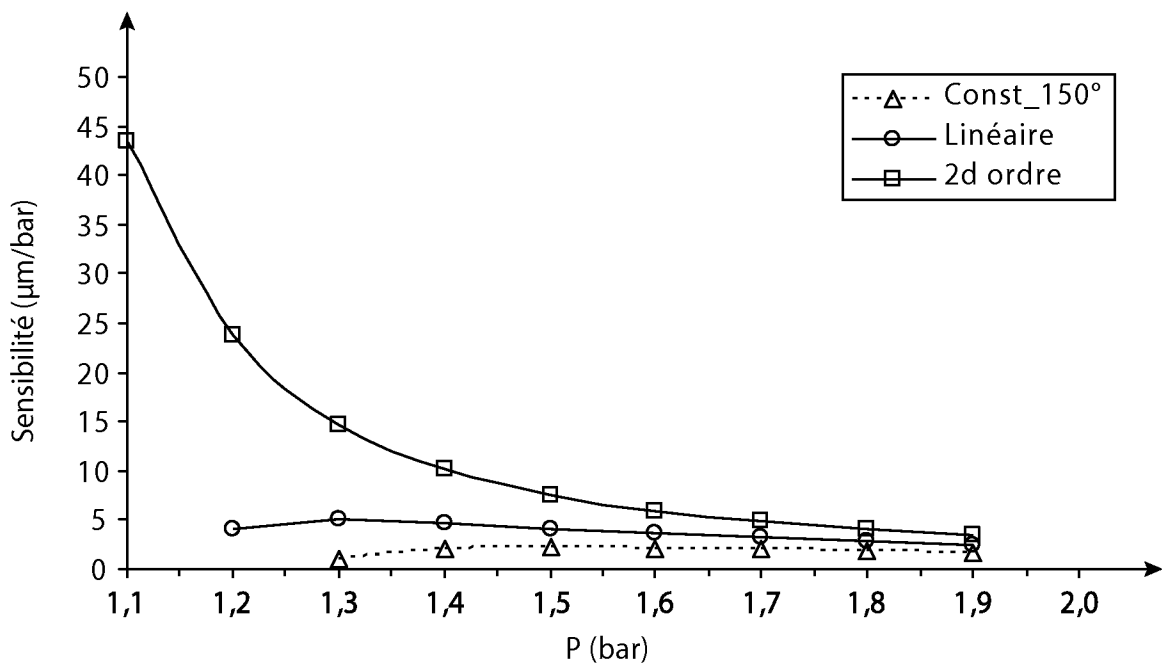


FIG.4C

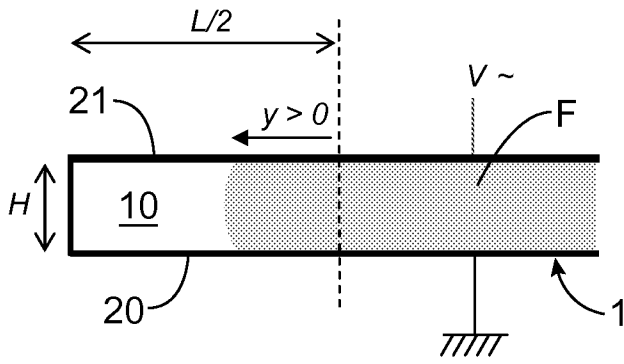


FIG.5

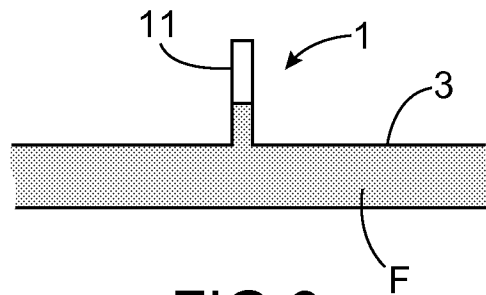


FIG.6

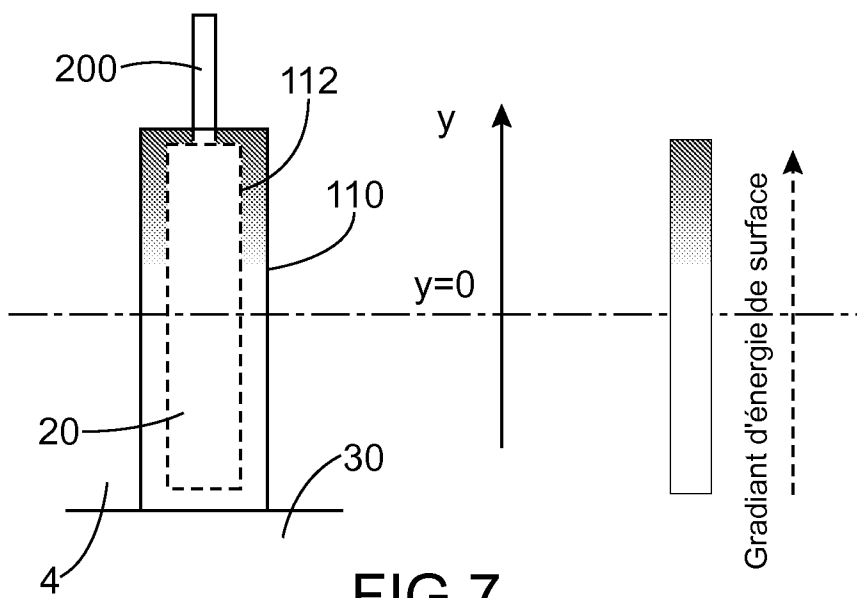


FIG.7

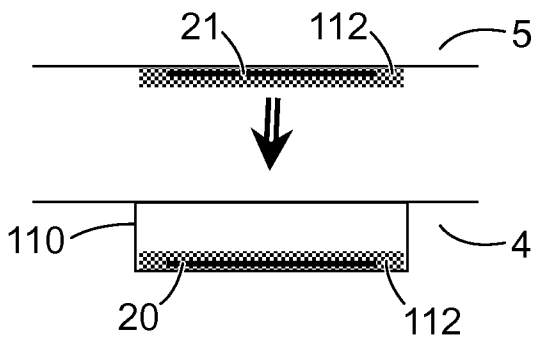


FIG. 8A

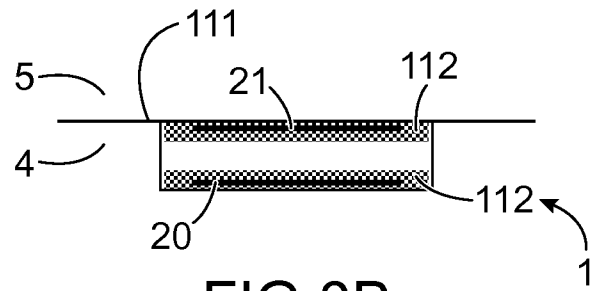


FIG. 8B

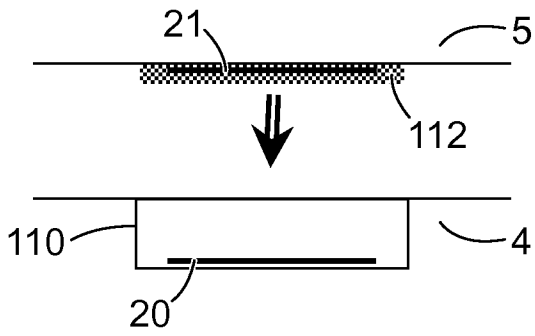


FIG. 9A

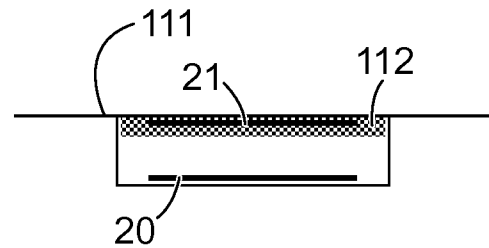


FIG. 9B

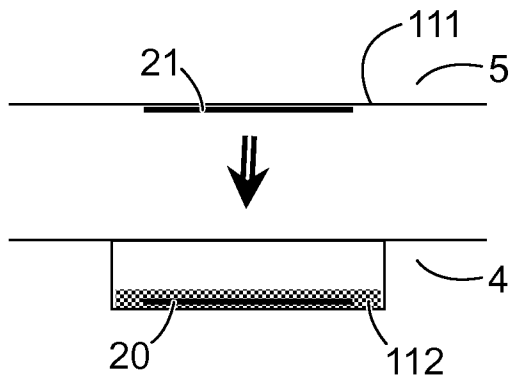


FIG. 10A

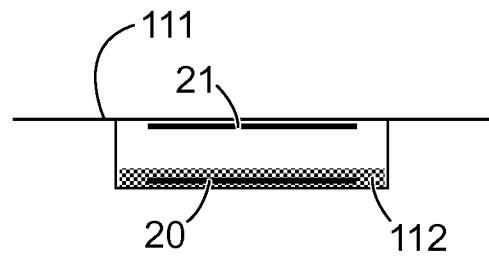


FIG. 10B

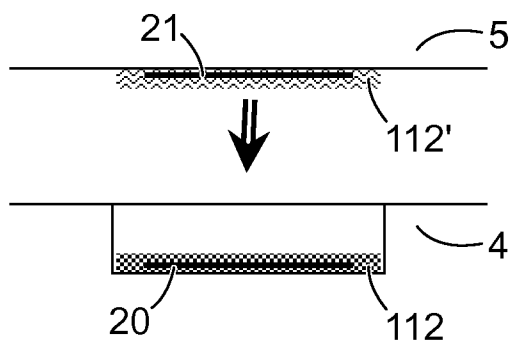


FIG. 11A

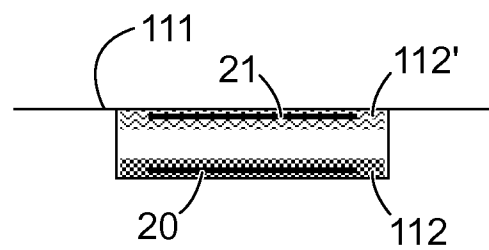


FIG. 11B

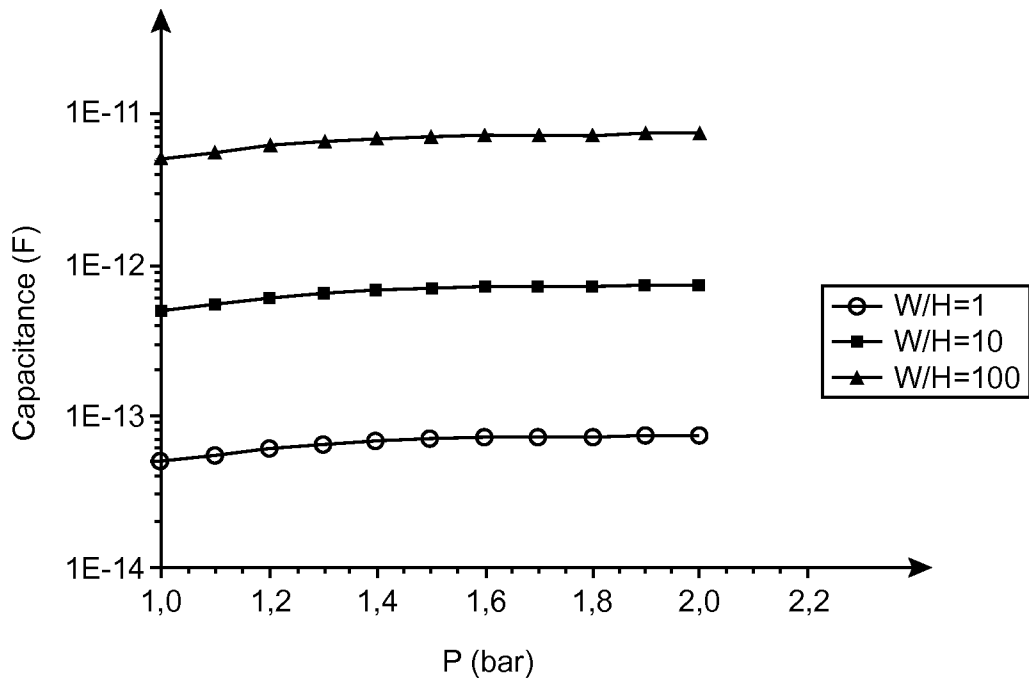


FIG.12A

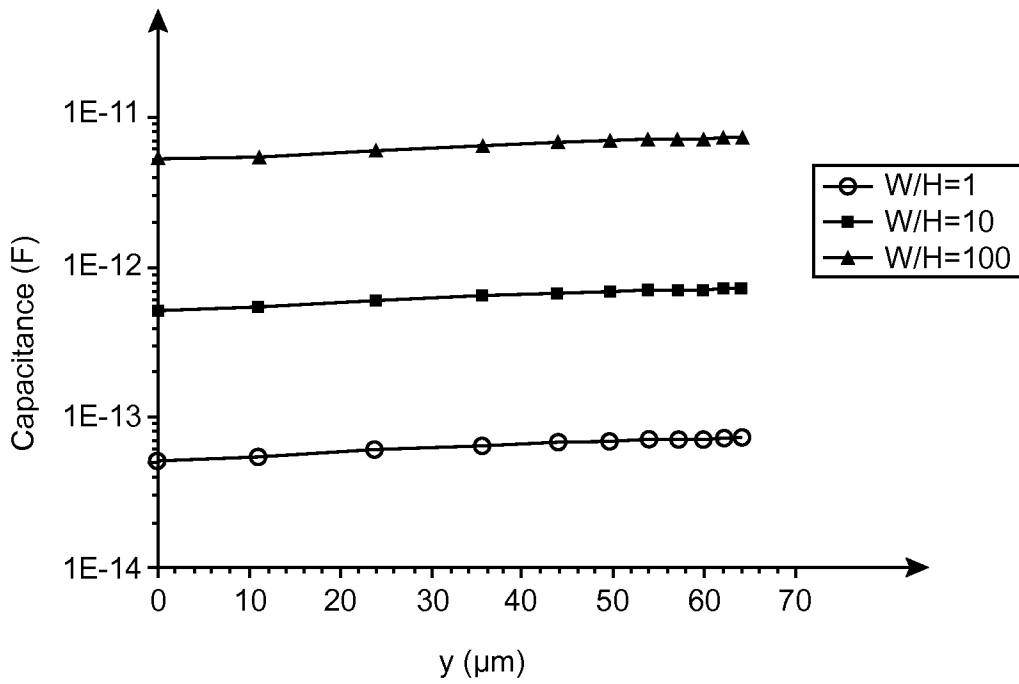


FIG.12B

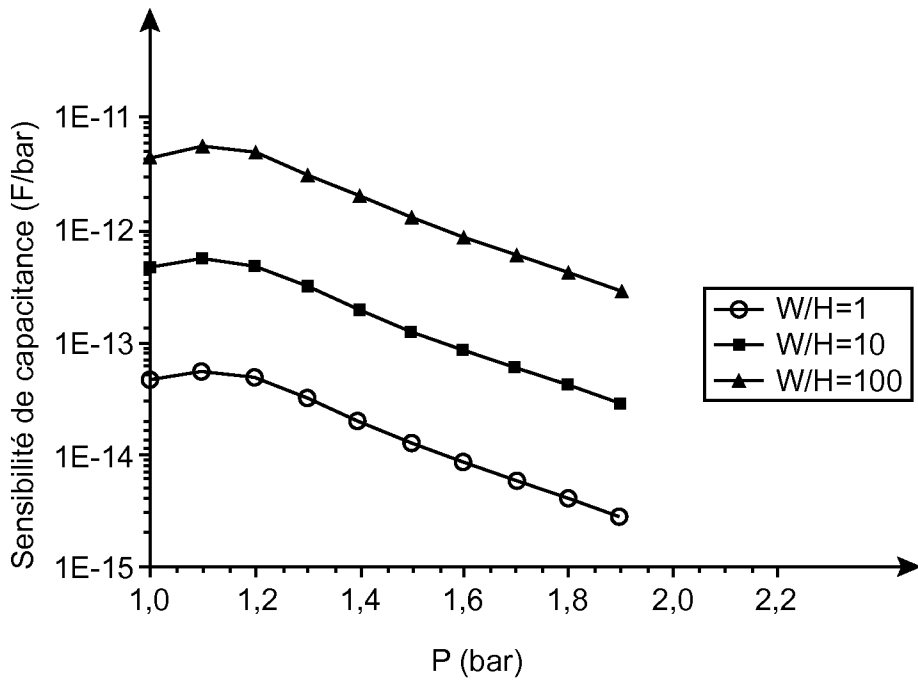


FIG.12C

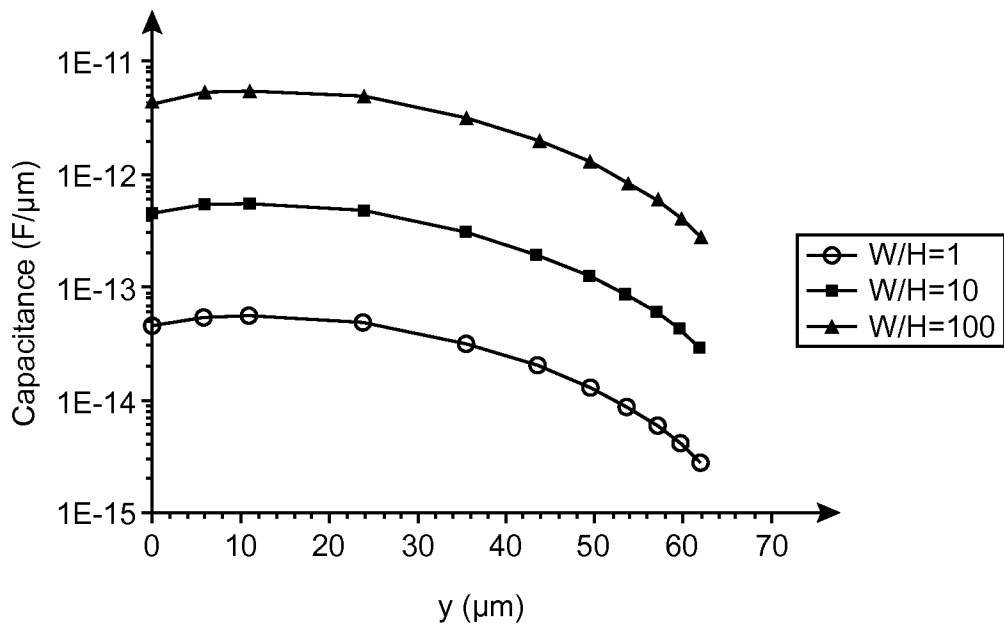


FIG.12D

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/EP2011/056656
---

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>				
INV. G01L7/20	B01L3/00	B81B1/00		
ADD.	G01L7/18	G01L9/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC				
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>				
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01L B41J B01L B81B B05D				
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched				
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal				
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>				
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.		
A	SRIVASTAVA, N. AND BURNS, M. A.: "Microfluidic pressure sensing using trapped air compression", LAB ON A CHIP, vol. 7, 4 April 2007 (2007-04-04), pages 633-637, XP002608061, DOI: 10.1039/B617067F Section "Introduction" on page 633 - End of Section "Liquid pressure measurements" page 636 figures 1-3 -----	1-16		
A	WO 03/076082 A2 (BABCOCK BRIAN [US]) 18 September 2003 (2003-09-18) page 7, line 25 - page 8, line 10 -----	1-16		
A	US 6 843 121 B1 (DEBAR MICHAEL J [US] ET AL) 18 January 2005 (2005-01-18) figures 2-4 column 3, line 37 - column 6, line 6 -----	1-16		
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <span style="margin-left: 200px;"><input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.</span>				
* Special categories of cited documents : <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top;">               "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance                "E" earlier document but published on or after the international filing date                "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)                "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means                "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed             </td> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top;">               "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention                "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone                "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.                "&amp;" document member of the same patent family             </td> </tr> </table>			"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "&" document member of the same patent family
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "&" document member of the same patent family			
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report		
19 May 2011		30/05/2011		
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer  Giesen, Fabian		

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2011/056656

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 03076082	A2	18-09-2003 AU 2002367538 A1	22-09-2003
US 6843121	B1	18-01-2005 WO 2005022105 A1	10-03-2005

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°  
PCT/EP2011/056656

<b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b> INV. G01L7/20      B01L3/00      B81B1/00      G01L7/18      G01L9/00 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
<b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b>		
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G01L B41J B01L B81B B05D		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	SRIVASTAVA, N. AND BURNS, M. A.: "Microfluidic pressure sensing using trapped air compression", LAB ON A CHIP, vol. 7, 4 avril 2007 (2007-04-04), pages 633-637, XP002608061, DOI: 10.1039/B617067F Section "Introduction" on page 633 - End of Section "Liquid pressure measurements" page 636 figures 1-3 -----	1-16
A	WO 03/076082 A2 (BABCOCK BRIAN [US]) 18 septembre 2003 (2003-09-18) page 7, ligne 25 - page 8, ligne 10 -----	1-16
A	US 6 843 121 B1 (DEBAR MICHAEL J [US] ET AL) 18 janvier 2005 (2005-01-18) figures 2-4 colonne 3, ligne 37 - colonne 6, ligne 6 -----	1-16
<input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <span style="margin-left: 200px;"><input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe</span>		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale	
19 mai 2011	30/05/2011	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé	
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Giesen, Fabian	

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2011/056656

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
WO 03076082	A2	18-09-2003	AU	2002367538 A1		22-09-2003
-----						
US 6843121	B1	18-01-2005	WO	2005022105 A1		10-03-2005
-----						