



(51) Classification internationale des brevets :

G01N 27/12 (2006.01) G01N 13/00 (2006.01)
G01N 15/08 (2006.01) G01N 33/36 (2006.01)
H01M 8/04 (2006.01) G01N 33/38 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/EP2016/072921

(22) Date de dépôt international :

27 septembre 2016 (27.09.2016)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

1559161 29 septembre 2015 (29.09.2015) FR

(71) Déposant : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES [FR/FR]; Bat le Ponant 25 rue Leblanc, 75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs : PIOT, Amandine; 60 rue Agutte Sembat, 73000 Chambéry (FR). BEJAT, Timea; 22 chemin des primevères, 73100 Tresserve (FR). MARIOTTO, Mathieu; 6 avenue Aristide Bergès, 38190 Villard-bonnot (FR).

(74) Mandataire : BREVALEX; 95, rue d'Amsterdam, 75378 Paris Cedex 8 (FR).

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

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

Publiée :

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

(54) Title : DEVICE AND METHOD FOR QUANTIFYING A FLOW OF A GASEOUS ENTITY WITHIN A POROUS MEDIUM

(54) Titre : DISPOSITIF ET PROCÉDE POUR QUANTIFIER UN FLUX D'ENTITE GAZEUSE AU SEIN D'UN MILIEU POREUX

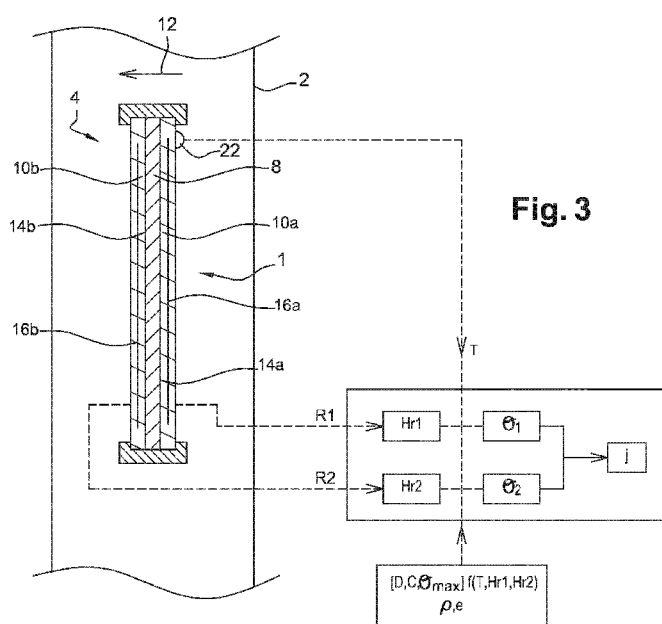


Fig. 3

(57) Abstract : The invention concerns a device (1) for quantifying a flow of a gaseous entity within a porous medium (2), the gaseous entity being steam and the device comprising: - a membrane (8) permeable to the gaseous entity; - first and second layers (10a, 10b) arranged to either side of the membrane (8) and made from a material having a physical characteristic that varies with the gaseous entity content within said layers; - means (16a, 16b) delivering a value (Cp₁) of the physical characteristic within the layer (10a), and a value (Cp₂) of the physical characteristic within the layer (10b); and - a calculation module (20) configured to determine, from the values (Cp₁, Cp₂), gaseous entity contents (θ₁, θ₂) within the layers (10a, 10b), and to determine the flow of the gaseous entity (J) from the equation $J = D.p.(θ_1 - θ_2)/e$.

(57) Abrégé : L'invention concerne un dispositif (1) pour quantifier un flux d'entité gazeuse au sein d'un milieu poreux (2), l'entité gazeuse étant de la vapeur d'eau et le dispositif comprenant : - une membrane (8) perméable à l'entité gazeuse; - des

[Suite sur la page suivante]



première et seconde couches (10a, 10b) agencées de part et d'autre de la membrane (8) et réalisées dans un matériau présentant une caractéristique physique variant avec la teneur en entité gazeuse au sein de ces couches; - des moyens (16a, 16b) délivrant une valeur (C_{p1}) de la caractéristique physique au sein de la couche (10a), ainsi qu'une valeur (C_{p2}) de la caractéristique physique au sein de la couche (10b); et - un module de calcul (20) configuré pour déterminer à partir des valeurs (C_{p1} , C_{p2}) des teneurs en entité gazeuse (θ_1 , θ_2) au sein des couches (10a, 10b), et pour déterminer le flux d'entité gazeuse (J) à partir de la relation $J = D.p.(\theta_1 - \theta_2)/e$.

DISPOSITIF ET PROCEDE POUR QUANTIFIER UN FLUX D'ENTITE GAZEUSE AU SEIN D'UN MILIEU POREUX

DESCRIPTION

5 DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention se rapporte au domaine de la quantification d'un flux d'entité gazeuse au sein d'un milieu poreux, l'entité gazeuse étant de la vapeur d'eau.

L'invention trouve des applications particulières, mais non limitatives, dans les domaines du bâtiment, du textile ou encore de la médecine.

10 ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

De l'art antérieur, il est connu de nombreux types de capteurs d'humidité relative, notamment des capteurs utilisant des polymères. En effet, en fonction de la valeur de la résistance électrique du polymère, il est possible de déterminer une valeur d'humidité relative. Cependant, aucun de ces capteurs ne permet de fournir
15 une valeur de flux de vapeur d'eau instantané à travers le milieu poreux testé.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

Pour répondre au moins partiellement à ce besoin, l'invention a tout d'abord pour objet un dispositif pour quantifier un flux d'entité gazeuse au sein d'un milieu poreux, le dispositif comprenant :

- 20 - une membrane perméable à ladite entité gazeuse ;
- une première couche et une seconde couche agencées de part et d'autre de la membrane, lesdites première et seconde couches étant structurées de façon à pouvoir être traversées par le flux d'entité gazeuse et réalisées dans un matériau présentant au moins une caractéristique physique variant avec la teneur en entité
25 gazeuse au sein de ces couches ;
- des premiers moyens de mesure de ladite caractéristique physique au sein de la première couche, capables de délivrer une première valeur (Cp_1) de la caractéristique physique, ainsi que des seconds moyens de mesure de ladite

caractéristique physique au sein de la seconde couche, capables de délivrer une seconde valeur (Cp_2) de la caractéristique physique ; et

- un module de calcul configuré pour :

déterminer à partir de la première valeur (Cp_1) de la caractéristique

5 physique une première teneur en entité gazeuse (θ_1) au sein de la première couche, et déterminer à partir de la seconde valeur (Cp_2) de la caractéristique physique une seconde teneur en entité gazeuse (θ_2) au sein de la seconde couche ; et

déterminer le flux d'entité gazeuse (J) à partir de la relation suivante :

$$J = D.p.(\theta_1 - \theta_2)/e ; \quad \text{avec :}$$

10 J le flux d'entité gazeuse (kg d'entité gazeuse/s/m²),

D le coefficient de diffusion de la membrane (m²/s),

p la masse volumique de la membrane (kg/m³),

e l'épaisseur de la membrane (m),

θ la teneur en entité gazeuse (kg d'entité gazeuse / kg de membrane).

15

L'invention propose ainsi une solution simple et fiable permettant de facilement quantifier un flux instantané de vapeur d'eau au sein d'un milieu poreux, à partir de simples mesures d'une caractéristique physique du matériau constituant le couches, comme la résistance électrique, et à partir de données intrinsèques à la

20 membrane dont les propriétés physiques et de transfert de masse sont connues et/ou prédéterminables.

L'invention présente de préférence au moins l'une des caractéristiques optionnelles suivantes, prises isolément ou en combinaison.

La membrane présente une épaisseur comprise entre 1 μm et 500 μm , et de préférence de l'ordre de 250 μm . Il s'agit d'une membrane imper-respirante, de

25 préférence d'un tissu imper-respirant, par exemple une membrane commercialisée sous la référence Nafion® par la société DuPont de Nemours.

Chaque première et seconde couche présente une épaisseur comprise entre 10 μm et 1000 μm , et de préférence de l'ordre de 250 μm .

Chaque première et seconde couche est réalisée en polymère, par exemple en PVA. De nombreux autres matériaux, notamment des polymères, peuvent être retenus, sans sortir du cadre de l'invention. Le silicium constitue également une possibilité intéressante pour l'invention.

5 Chaque première et seconde couche présente une forme de grille.

Selon une première possibilité, ladite grille comprend des bandes parallèles reliées à leurs extrémités par deux bases opposées, lesdites bandes parallèles définissant entre elles des ouvertures pour le passage de l'entité gazeuse.

10 Selon une seconde possibilité, ladite grille forme deux peignes agencés en regard et en quinconce à l'aide de premières bandes parallèles reliées à l'une de leurs extrémités à une première base et libres à l'autre extrémité, et à l'aide de secondes bandes parallèles reliées à l'une de leurs extrémités à une seconde base et libres à l'autre extrémité, les premières bandes définissant entre elles des premières ouvertures pour le passage de l'entité gazeuse et les secondes bandes définissant entre elles des secondes
15 ouvertures pour le passage de l'entité gazeuse, les extrémités libres de premières bandes se trouvant en regard des secondes ouvertures et réciproquement.

De préférence, ladite caractéristique physique est la résistance électrique, et chacun desdits premiers et seconds moyens de mesure comprend des électrodes. Ces électrodes peuvent être rapportées sur les couches ou intégrées à celles-
20 ci. Alternativement, il peut s'agir d'une autre caractéristique électrique, comme la capacité électrique.

Toujours dans le cas de la détection d'un flux de vapeur d'eau, ledit module de calcul est de préférence configuré pour déterminer une première humidité relative (Hr_1) à la surface de la première couche, à partir de la première valeur (Cp_1) de la
25 caractéristique physique, de préférence la résistance électrique de cette première couche, et également configuré pour déterminer une seconde humidité relative (Hr_2) à la surface de la seconde couche, à partir de la seconde valeur (Cp_2) de la caractéristique physique, de préférence la résistance électrique de cette seconde couche.

Ensuite, le module de calcul est de préférence configuré pour déterminer la première teneur en vapeur d'eau (θ_1) ainsi que la seconde teneur en vapeur d'eau (θ_2) à partir des relations suivantes :

$$\theta_1 = \theta_{\max} / (1 - C + C/Hr_1) ; \text{ et}$$

5
$$\theta_2 = \theta_{\max} / (1 - C + C/Hr_2) ; \text{ avec :}$$

$\theta_{\max}$ la teneur maximale en vapeur d'eau dans la membrane (kg de vapeur d'eau/kg de membrane),

C la constante de sorption de la membrane (-),

Hr l'humidité relative (-).

10

De préférence, le dispositif comporte un capteur de température permettant de renseigner sur la température (T) de la membrane.

Ledit module de calcul est alors de préférence configuré de sorte que la détermination de la première humidité relative (Hr_1) et de la seconde humidité relative
15 (Hr_2) s'effectue en fonction de la température (T) mesurée par le capteur de température, et/ou de sorte que pour la détermination de θ_1 , θ_2 , et J, les valeurs de $\theta_{\max}$, C, et D sont fonction de la température (T) mesurée par le capteur de température et/ou fonction des premières et secondes humidités relatives (Hr_1 , Hr_2). Alternativement, il peut s'agir de valeurs fixes intrinsèques à la membrane.

20 L'invention a également pour objet une paroi de bâtiment équipée d'un dispositif tel que décrit ci-dessus pour quantifier un flux de vapeur d'eau au sein de cette paroi.

Enfin, l'invention a pour objet un procédé pour quantifier un flux d'entité gazeuse au sein d'un milieu poreux mis en œuvre à l'aide d'un tel dispositif,
25 l'entité gazeuse étant de la vapeur d'eau, et le procédé comprenant les étapes suivantes :

- déterminer à partir de la première valeur (Cp_1) de la caractéristique physique une première teneur en entité gazeuse (θ_1) au sein de la première couche, et déterminer à partir de la seconde valeur (Cp_2) de la caractéristique physique une seconde teneur en entité gazeuse (θ_2) au sein de la seconde couche ; et

30 - déterminer le flux d'entité gazeuse (J) à partir de la relation suivante :

$$J = D \cdot \rho \cdot (\theta_1 - \theta_2) / e ; \quad \text{avec :}$$

J le flux d'entité gazeuse (kg d'entité gazeuse/s/m²),

D le coefficient de diffusion de la membrane (m²/s),

ρ la masse volumique de la membrane (kg/m³),

5 e l'épaisseur de la membrane (m),

θ la teneur en entité gazeuse (kg d'entité gazeuse / kg de membrane).

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront dans la description détaillée non limitative ci-dessous.

10 BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

Cette description sera faite au regard des dessins annexés parmi lesquels ;

- la figure 1 représente une vue schématique d'une paroi de bâtiment équipée d'un dispositif pour quantifier le flux de vapeur d'eau à travers cette paroi, le
15 dispositif se présentant sous la forme d'une premier un mode de réalisation préféré de l'invention ;

- la figure 2 représente un logigramme mentionnant les différentes étapes d'un procédé pour quantifier le flux de vapeur d'eau à travers la paroi, mis en œuvre à l'aide du dispositif montré sur la figure 1 ;

20 - les figures 3 et 4 sont respectivement analogues aux figures 1 et 2, avec le dispositif se présentant sous la forme d'un second mode de réalisation préféré de l'invention ;

- les 5 et 6 sont des graphes illustrant la manière de tenir compte de la température et de l'humidité relative pour la détermination de certains paramètres utiles
25 à la quantification du flux de vapeur d'eau ;

- les figures 7a à 7c représentent différentes configurations possibles pour les couches du dispositif destinées à être agencées de part et d'autre de la membrane ;

- les figures 8a à 8c représentent les couches des figures 7a à 7c, équipées d'électrodes pour la mesure de la résistance électrique ;

- la figure 9 illustre en perspective le dispositif comprenant des couches du type de celle montrée en figures 7b et 8b, le dispositif étant équipé d'un cadre de
5 maintien ;

- la figure 10 est une vue analogue à celle de la figure 9, coupée selon la ligne X-X de cette figure 9 ;

- la figure 11 représente une vue en perspective du dispositif selon une alternative de réalisation, en forme générale de disque ; et

10 - la figure 12 est une vue analogue à celle de la figure 11, coupée selon la ligne XII-XII de cette figure 11.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PRÉFÉRÉS

En référence tout d'abord à la figure 1, il est représenté un dispositif 1 pour quantifier un flux de vapeur d'eau au sein d'une paroi 2 d'un bâtiment, paroi dans
15 laquelle ce dispositif 1 est logé. Le dispositif 1 prend la forme d'un premier mode de réalisation préféré de l'invention. Plus précisément, il comporte une partie de détection 4 qui est logée dans la paroi 2 formant un milieu poreux, ainsi qu'une partie traitement 6 située de préférence à l'extérieur de la paroi 2.

La partie de détection 4 comprend un empilement d'éléments parmi
20 lesquels une membrane imper-respirante 8, de part et d'autre de laquelle sont agencées une première couche 10a et une seconde couche 10b.

La membrane 8, du fait de son caractère imper-respirant, est perméable à la vapeur d'eau dont le flux doit être quantifié. A cet égard, sur la figure 1, le flux de vapeur d'eau au sein de la paroi 2 est schématisé par la flèche 12. Cette membrane 8
25 présente une épaisseur comprise entre 1 μm et 500 μm , et de préférence de l'ordre de 250 μm . Il s'agit par exemple d'un tissu imper-respirant, par exemple une membrane commercialisée sous la référence Nafion® par la société DuPont de Nemours. Une telle membrane Nafion® est particulièrement intéressante pour la présente application en

raison de sa forte perméabilité à la vapeur d'eau, de la reproductibilité de ses caractéristiques, et de sa faible inertie hydrique notamment grâce à sa faible épaisseur.

Cependant d'autres matériaux peuvent être utilisés pour la réalisation de la membrane 8, en particulier tous les tissus imper-respirants, comme la référence
5 Gore-Tex® commercialisée par la société W L Gore, Microtech® commercialisée par la société Travis Textiles, Pebax® commercialisée par la société Arkema, Arnitel® commercialisée par la société DSM, Permax® commercialisée par la société Lubrizol, ainsi que l'ensemble des références de tissus imper-respirants citées dans le tableau de la
10 publication « Mukhopadhyay, A. and M. Vinay Kumar, A Review on Designing the Waterproof Breathable Fabrics Part II: Construction and Suitability of Breathable Fabrics for Different Uses. *Journal of Industrial Textiles*, 2008. 38(1): p. 17-41 ».

Les couches 10a, 10b sont quant à elles plaquées sur les surfaces opposées de la membrane 8. Une première interface 14a est donc définie entre la première couche 10a et la membrane 8, et une seconde interface 14b est définie entre la
15 seconde couche 10b et cette même membrane. Chaque couche 10a, 10b présente une épaisseur comprise entre 10 µm et 1000 µm, et de préférence de l'ordre de 250 µm. Elles sont réalisées en polymère, par exemple en PVA (poly(acétate de vinyle)). D'autres matériaux pourraient être retenus, le but étant de disposer d'un matériau présentant une caractéristique physique variant avec la teneur en vapeur d'eau au sein des couches 10a,
20 10b. Avec la mise en œuvre d'un matériau polymère, la résistance électrique des couches 10a, 10b varie avec la teneur en vapeur d'eau au sein de celles-ci. Ce matériau s'avère par conséquent parfaitement adapté pour l'invention, étant donné qu'il peut par ailleurs être facilement structuré pour pouvoir être traversé par le flux de vapeur d'eau. Cette structuration prend de préférence la forme d'une grille avec des ouvertures pour le
25 passage de la vapeur d'eau, comme cela sera détaillé en référence aux figures 7a et suivantes.

En raison de la structuration adaptée des couches 10a, 10b et du caractère imper-respirant de la membrane 8, il est admis que le flux de vapeur d'eau 12 circule au travers de la partie de détection 4 du dispositif 1 de la même manière qu'au
30 sein de la paroi 2 formant le milieu poreux à tester.

La partie de détection 4 comporte également des premiers moyens 16a de mesure d'une première valeur Cp_1 d'une caractéristique physique de la première couche 10a, ici la résistance électrique R_1 de cette couche 10a. De la même manière, il est prévu des seconds moyens 16b de mesure d'une seconde valeur Cp_2 de la caractéristique physique de la seconde couche 10b, ici la résistance électrique R_2 de cette couche 10b.

Comme cela sera détaillé ultérieurement, les moyens de mesure 16a, 16b comportent des électrodes rapportées sur la surface libre des couches 10a, 10b, ou bien intégrées à celle-ci.

Les valeurs de résistance électrique R_1 , R_2 sont délivrées à la partie traitement 6 du dispositif 1, cette partie comprenant essentiellement un module de calcul 20 recevant les valeurs précitées R_1 , R_2 . Dans le module de calcul 20, d'autres valeurs de propriétés physiques et de masse de la membrane 8 sont également chargées.

Il s'agit en particulier de « D » (m^2/s) le coefficient de diffusion de la membrane 8 au sens de la loi de Fick, de « C » (sans unité) la constante de sorption de la membrane, de « θ_{max} » (kg de vapeur d'eau/kg de membrane) la teneur maximale en vapeur d'eau dans la membrane, de « ρ » (kg/m^3) la masse volumique de la membrane, et de « e » (m) l'épaisseur de la membrane (m).

En référence à présent conjointement aux figures 1 et 2, il va être décrit le procédé pour quantifier le flux « J » de vapeur d'eau dans la paroi 2, ce procédé étant mis en œuvre à l'aide du dispositif 1.

Tout d'abord aux étapes E1 et E'1, il est réalisé les mesures R_1 , R_2 qui sont ensuite transmises au module 20.

A partir de la première valeur R_1 , le module 20 détermine à une étape E2 une première humidité relative Hr_1 à la surface de la première couche 10a. La corrélation entre la résistance électrique et l'humidité relative est connue de l'état de l'art, et utilisée par le module 20 pour déterminer la valeur Hr_1 à partir de la valeur R_1 . D'ailleurs, il est noté que la valeur Hr_1 correspond également à l'humidité relative au sein de la couche 10a ainsi qu'au niveau de la première interface 14a avec la membrane 8.

De manière analogue, le module 20 détermine à une étape E'2 une seconde humidité relative Hr_2 à la surface de la seconde couche 10b, cette valeur Hr_2

correspondant également à l'humidité relative au sein de la couche 10b ainsi qu'au niveau de la seconde interface 14b avec la membrane 8.

Ensuite, à une étape E3, il est procédé à la détermination d'une première teneur en vapeur d'eau θ_1 (kg de vapeur d'eau / kg de membrane), à la
5 première interface 14a à partir de la relation suivante :

$$\theta_1 = \theta_{\max} / (1 - C + C/Hr_1)$$

De la même manière, à une étape E'3, il est procédé à la détermination d'une seconde teneur en vapeur d'eau θ_2 (kg de vapeur d'eau / kg de membrane), à la
10 seconde interface 14b à partir de la relation suivante :

$$\theta_2 = \theta_{\max} / (1 - C + C/Hr_2)$$

A une étape E4, les première et seconde teneurs en vapeur d'eau θ_1, θ_2 sont utilisées par le module de calcul 20 pour la détermination du flux instantané de
15 vapeur d'eau J (kg vapeur d'eau/s/m²), à partir de la relation suivante :

$$J = D.p.(\theta_1 - \theta_2)/e$$

Cette quantification du flux de vapeur d'eau J traversant la partie de détection 4 du dispositif 1 correspond ainsi à l'intensité du flux instantané de vapeur
20 d'eau 12 traversant la paroi 2, à proximité de ce dispositif 1.

L'invention est ainsi avantageuse en ce qu'elle repose sur de simples mesures de résistances électriques permettant de déterminer l'hygrométrie au sein des couches 10a, 10b, les valeurs d'hygrométrie étant ensuite utilisées pour la quantification du flux de vapeur d'eau.

25 Dans un second mode de réalisation illustré sur les figures 3 et 4, la partie de détection 4 comporte également un capteur de température 22 permettant de renseigner sur la température T de la membrane 8. Ce capteur peut être directement au contact de la membrane 8, ou au contact de l'une des couches 10a, 10b. Par exemple, il peut s'agir d'une sonde résistive de température ou d'un thermocouple. La valeur T de la

température est délivrée au module de calcul 20, lors de la mise en œuvre d'une étape E0 du procédé.

Dans ce second mode de réalisation préféré, le module de calcul 20 est configuré de sorte que la détermination de la première humidité relative Hr_1 et de la seconde humidité relative Hr_2 , aux étapes E2, E'2, s'effectue en fonction de la température T. Par exemple, un facteur correctif peut être appliqué aux valeurs initiales Hr_1 , Hr_2 obtenues par traitement des signaux de résistances électriques R_1 , R_2 , ce facteur étant alors dépendant de la température T.

De manière analogue, le module 20 peut également être programmé de sorte que pour la détermination de θ_1 , θ_2 , et J, les valeurs de $\theta_{\max}$, C, et D soient fonction de la température T, et non des valeurs fixent comme dans le premier mode de réalisation préféré décrit ci-dessus. Ces valeurs de $\theta_{\max}$, C, et D peuvent alternativement ou simultanément être fonction de la valeur des premières et secondes humidités relatives Hr_1 , Hr_2 .

A cet égard, en référence à la figure 5, il est représenté des exemples d'isothermes de sorption caractéristiques de différents types de membranes perméables à une entité gazeuse. L'isotherme de sorption est déterminé par une mesure de teneur en vapeur d'eau de la membrane à l'équilibre, pour une humidité relative précise à une température donnée. Chaque courbe (a), (b), (c) correspond donc à un type de membrane précis illustrant un comportement d'absorption caractéristique (seulement trois courbes sont représentées), et la constante de sorption C associée à chaque courbe correspond à la forme de cette courbe, sachant que $C=1$ traduit une variation linéaire de la prise d'eau en fonction de l'humidité relative (courbe (b)). En outre, pour chaque température, la valeur de $\theta_{\max}$ est déterminée pour une humidité relative (hygrométrie) de 100%.

L'ensemble des données de plusieurs isothermes de sorption réalisés à différentes températures peuvent être saisies dans une cartographie attachée à la partie traitement 6, de manière à être utilisées aux étapes de E3 et E'3 pour tenir compte de la température et de l'humidité relative.

En référence à la figure 6, il est représenté la cinétique de la teneur en vapeur d'eau de la membrane (masse absorbée de vapeur d'eau par la membrane / masse totale absorbable à l'équilibre en fonction du temps), pour une température et une humidité relative données.

- 5 A partir de cette courbe, pour la température et l'humidité relative données, il est possible de déterminer la valeur du coefficient de diffusion D de la membrane (également dénommé coefficient de diffusion Fickien), grâce à la relation suivante :

$$M(t)/M_{eq} = \frac{4}{e} \sqrt{D \cdot \frac{t}{\pi}}$$

- 10 Sur la figure 6, il a été identifié trois zones de calcul possibles D1, D2, D3 pour la détermination de la valeur D. Ces trois zones D1, D2, D3 correspondent à différents moments de la sorption. Usuellement, sur des membranes très fines de l'ordre de la centaine de micromètres, ces phénomènes sont très rapides et c'est le coefficient D1 qui est ainsi retenu dans les calculs.

- 15 En élaborant plusieurs graphes analogues pour des températures et humidités relatives différentes, il est possible de disposer d'un ensemble de données corrélant la valeur D à ces deux derniers paramètres. Ces données peuvent être saisies dans une cartographie attachée à la partie traitement 6, de manière à être utilisées à l'étape E4 pour tenir compte de la température et de l'humidité relative pour l'affectation
20 d'une valeur au coefficient D. A titre indicatif, D peut être déterminé pour une valeur Hr correspondant à la moyenne des deux valeurs Hr₁ et Hr₂.

- A présent en référence aux figures 7a à 7c, il est montré trois configurations possibles pour la réalisation des couches 10a, 10b. Sur ces figures, seule la couche 10a est représentée, mais la couche 10b doit être considérée comme présentant
25 une conception identique ou similaire.

Dans les trois configurations, les couches 10a présentent la forme de grilles pour permettre le passage de la vapeur d'eau dans les ouvertures de la grille.

Sur les figures 7a et 7b, la couche 10a comprend des bandes parallèles 40 reliées à leurs extrémités par deux bases opposées 42, perpendiculaires aux bandes

40. Les bandes parallèles 40 définissent entre elles des ouvertures 44 pour le passage de la vapeur d'eau, ces ouvertures étant obturées à leurs extrémités par les bases 42. Sur la figure 7a, la couche 10a présente seulement deux ouvertures 44, tandis que sur la figure 7b, la pluralité de bandes 42 entraîne la présence de nombreuses ouvertures 44, parallèles entre elles.

La configuration de la figure 7c diffère des précédentes en ce que la grille forme deux peignes 46a, 46b agencés en regard et en quinconce. Pour ce faire, il est prévu des premières bandes parallèles 40a reliées à l'une de leurs extrémités à une première base 42a, l'autre extrémité restant libre. De manière analogue, il est prévu des secondes bandes 40b parallèles aux premières bandes, et reliées à l'une de leurs extrémités à une seconde base 42b, l'autre extrémité restant également libre. Les premières bandes 40a définissant entre elles des premières ouvertures 44a pour le passage de la vapeur d'eau, tandis que les secondes bandes 40b définissent entre elles des secondes ouvertures 44b également pour le passage de la vapeur d'eau.

Du fait de l'agencement en regard et en quinconce des deux peignes 46a, 46b, les extrémités libres de premières bandes 40a se trouvent en regard des secondes ouvertures 44b, et les extrémités libres de secondes bandes 40b se trouvent en regard des premières ouvertures 44a. De plus, entre les extrémités libres des bandes 40a, 40b, il est prévu une ouverture transversale 48 perpendiculaire à ce bandes et séparant les deux peignes 46a, 46b.

Les figures 8a à 8c représentent la disposition des électrodes sur la couche 10a. Les électrodes 50a, 50b sont au nombre de deux, et font partie intégrante des premiers moyens de mesure 16a de la résistance électrique R_1 , associés à la première couche 10a.

Sur la configuration de la figure 8a, chaque électrode 50a, 50b comporte une base 52a, 52b cheminant le long de l'une des bases 42 de la grille, ainsi que des doigts 54a, 54b cheminant le long de chaque bande 40. Les doigts 54a, 54b sont donc disposés en interdigité.

Sur la configuration de la figure 8b, chaque bande 40 ne supporte pas deux doigts 54a, 54b comme sur la configuration précédente, mais seulement un doigt.

Les doigts 54a, 54b sont par conséquent agencés en alternance sur les bandes 40 de la grille, ce qui permet tout de même de conserver une disposition en interdigité.

Sur la configuration de la figure 8c, chaque électrode 50a, 50b prend une forme miroir de celle du peigne 46a, 46b auquel elle est associée, toujours en
5 présentant une base 52a, 52b et des doigts 54a, 54b raccordés à la base.

En référence aux figures 9 et 10, il est montré que la partie de détection 4 du dispositif 1 présente un cadre 56 de maintien des éléments 10a, 10b, 8. Ce cadre 56 chemine à la périphérie de l'empilement, en présentant une rainure intérieure 60 permettant le logement de la périphérie des éléments 10a, 10b, 8. A cet égard, il est noté
10 que la partie de détection 4 présente une forme générale carrée ou rectangulaire, par exemple un carré d'environ 40 mm de côté.

Les figures 11 et 12 montrent une alternative de réalisation sur laquelle la forme générale est celle d'un disque. Dans cette alternative, le concept reste néanmoins le même, de sorte que sur les figures 7a à 12, les éléments portant les mêmes
15 références numériques correspondent à des éléments identiques ou similaires. Il est notamment à noter que dans cette alternative représentée sur les figures 11 et 12, les bandes 40 des grilles sont circulaires, tout comme les doigts des électrodes 50a, 50b supportés par ces bandes circulaires 40.

Quelle que soit la configuration envisagée, une protection de la partie
20 de détection 4 est envisagée, notamment vis-à-vis des sollicitations mécaniques liées à son intégration in situ dans la paroi / le mur du bâtiment.

Cette protection (non représentée) peut être un film macroporeux, présentant une résistance très faible voire nulle au flux de vapeur d'eau. Un film tissé, en polymère par exemple, peut être utilisé. Dans les cas où des risques d'occurrence de
25 condensation sont possibles, la référence Tyvek® (fibres comprimées) commercialisée par la société DuPont de Nemours, constitue une solution idéale car ce tissu est imperméable à l'eau liquide tout en restant très poreux aux gaz.

Bien entendu, diverses modifications peuvent être apportées par l'homme du métier à l'invention qui vient d'être décrite, uniquement à titre d'exemples
30 non limitatifs. En particulier, les modes de réalisation préférés décrits ci-dessus sont en

relation avec une paroi de bâtiment, mais l'invention s'applique de manière analogue pour d'autres types de milieux solides et poreux de composition uniforme ou non-uniforme, par exemple des objets du secteur textile ou en rapport avec la médecine, et pour lesquels il existe un besoin de quantifier un flux instantané d'entité gazeuse les traversant.

En outre, si la caractéristique physique mesurée dans les modes de réalisation présentés correspond à la résistance électrique, il pourrait alternativement s'agir de la capacité électrique, nécessitant d'implanter une électrode de chaque côté de chacune des deux couches polymères 10a, 10b.

REVENDICATIONS

1. Dispositif (1) pour quantifier un flux d'entité gazeuse au sein d'un milieu poreux (2), ladite entité gazeuse étant de la vapeur d'eau, le dispositif étant
5 caractérisé en ce qu'il comprend :

- une membrane (8) perméable à ladite entité gazeuse ;

- une première couche (10a) et une seconde couche (10b) agencées de part et d'autre de la membrane (8), lesdites première et seconde couches étant structurées de façon à pouvoir être traversées par le flux d'entité gazeuse et réalisées
10 dans un matériau présentant au moins une caractéristique physique variant avec la teneur en entité gazeuse au sein de ces couches (10a, 10b) ;

- des premiers moyens (16a) de mesure de ladite caractéristique physique au sein de la première couche, capables de délivrer une première valeur (C_{p1}) de la caractéristique physique, ainsi que des seconds moyens (16b) de mesure de ladite
15 caractéristique physique au sein de la seconde couche, capables de délivrer une seconde valeur (C_{p2}) de la caractéristique physique ; et

- un module de calcul (20) configuré pour :

- déterminer à partir de la première valeur (C_{p1}) de la caractéristique physique une première teneur en entité gazeuse (θ_1) au sein de la première couche (10a),
20 et déterminer à partir de la seconde valeur (C_{p2}) de la caractéristique physique une seconde teneur en entité gazeuse (θ_2) au sein de la seconde couche (10b) ; et

- déterminer le flux d'entité gazeuse (J) à partir de la relation suivante :

$$J = D \cdot \rho \cdot (\theta_1 - \theta_2) / e ; \quad \text{avec :}$$

- J le flux d'entité gazeuse ($\text{kg d'entité gazeuse/s/m}^2$),

- D le coefficient de diffusion de la membrane (m^2/s),

- ρ la masse volumique de la membrane (kg/m^3),

- e l'épaisseur de la membrane (m),

- θ la teneur en entité gazeuse ($\text{kg d'entité gazeuse / kg de membrane}$).

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite membrane (8) présente une épaisseur comprise entre 1 μm et 500 μm , et de préférence de l'ordre de 250 μm .

5 3. Dispositif selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que ladite membrane (8) est imper-respirante, de préférence un tissu imper-respirant, par exemple une membrane commercialisée sous la référence Nafion® par la société DuPont de Nemours.

10 4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que chaque première et seconde couche présente une épaisseur comprise entre 10 μm et 1000 μm , et de préférence de l'ordre de 250 μm .

15 5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que chaque première et seconde couche (10a, 10b) est réalisée en polymère, par exemple en PVA.

20 6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que chaque première et seconde couche (10a, 10b) présente une forme de grille.

25 7. Dispositif selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ladite grille comprend des bandes parallèles (40) reliées à leurs extrémités par deux bases opposées (42), lesdites bandes parallèles définissant entre elles des ouvertures (44) pour le passage de l'entité gazeuse,

 ou en ce que ladite grille forme deux peignes (46a, 46b) agencés en regard et en quinconce à l'aide de premières bandes (40a) parallèles reliées à l'une de leurs extrémités à une première base (42a) et libres à l'autre extrémité, et à l'aide de secondes bandes (40b) parallèles reliées à l'une de leurs extrémités à une seconde base (42b) et libres à l'autre extrémité, les premières bandes (40a) définissant entre elles des

30

premières ouvertures (44a) pour le passage de l'entité gazeuse et les secondes bandes (40b) définissant entre elles des secondes ouvertures (44b) pour le passage de l'entité gazeuse, les extrémités libres de premières bandes (40a) se trouvant en regard des secondes ouvertures (44b) et réciproquement.

5

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite caractéristique physique est la résistance électrique, et en ce que chacun desdits premiers et seconds moyens de mesure (16a, 16b) comprend des électrodes (50a, 50b).

10

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit module de calcul (20) est configuré pour déterminer une première humidité relative (Hr_1) à la surface de la première couche (10a), à partir de la première valeur (Cp_1) de la caractéristique physique, de préférence la résistance électrique de cette première couche, et pour déterminer une seconde humidité relative (Hr_2) à la surface de la seconde couche (10b), à partir de la seconde valeur (Cp_2) de la caractéristique physique, de préférence la résistance électrique de cette seconde couche.

15

10. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce que le module de calcul (20) est configuré pour déterminer la première teneur en vapeur d'eau (θ_1) ainsi que la seconde teneur en vapeur d'eau (θ_2) à partir des relations suivantes :

20

$$\theta_1 = \theta_{\max} / (1 - C + C/Hr_1) ; \text{ et}$$

$$\theta_2 = \theta_{\max} / (1 - C + C/Hr_2) ; \text{ avec :}$$

$\theta_{\max}$ la teneur maximale en vapeur d'eau dans la membrane (kg de vapeur d'eau/kg de membrane),

25

C la constante de sorption de la membrane (-),

Hr l'humidité relative (-).

11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte un capteur de température (22) permettant de renseigner sur la température (T) de la membrane (8).

5 12. Dispositif selon la revendication 11 combinée à la revendication 9 et/ou à la revendication 10, caractérisé en ce que ledit module de calcul (20) est configuré de sorte que la détermination de la première humidité relative (Hr_1) et de la seconde humidité relative (Hr_2) s'effectue en fonction de la température (T) mesurée par le capteur de température (22), et/ou en ce que pour la détermination de θ_1 , θ_2 , et J, les
10 valeurs de θ_{max} , C, et D sont fonction de la température (T) mesurée par le capteur de température (22), et/ou fonction des premières et secondes humidités relatives (Hr_1 , Hr_2).

13. Paroi de bâtiment (2) équipée d'un dispositif (1) pour quantifier un
15 flux de vapeur d'eau au sein de cette paroi selon l'une quelconque des revendications précédentes.

14. Procédé pour quantifier un flux d'entité gazeuse au sein d'un milieu poreux (2) mis en œuvre à l'aide d'un dispositif (1) selon l'une quelconque des
20 revendications 1 à 12, l'entité gazeuse étant un flux de vapeur d'eau, et le procédé comprenant les étapes suivantes :

- déterminer à partir de la première valeur (Cp_1) de la caractéristique physique une première teneur en entité gazeuse (θ_1) au sein de la première couche (10a), et déterminer à partir de la seconde valeur (Cp_2) de la caractéristique physique une
25 seconde teneur en entité gazeuse (θ_2) au sein de la seconde couche (10b) ; et

- déterminer le flux d'entité gazeuse (J) à partir de la relation suivante :

$$J = D \cdot p \cdot (\theta_1 - \theta_2) / e ; \quad \text{avec :}$$

J le flux d'entité gazeuse (kg d'entité gazeuse/s/m²),

D le coefficient de diffusion de la membrane (m²/s),

30 p la masse volumique de la membrane (kg/m³),

e l'épaisseur de la membrane (m),

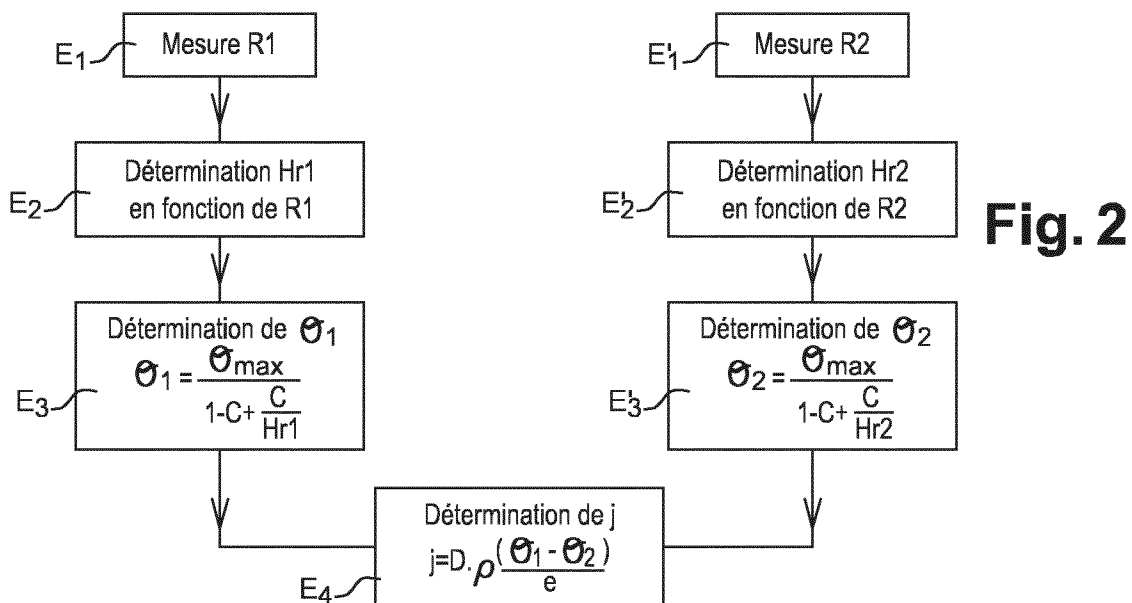
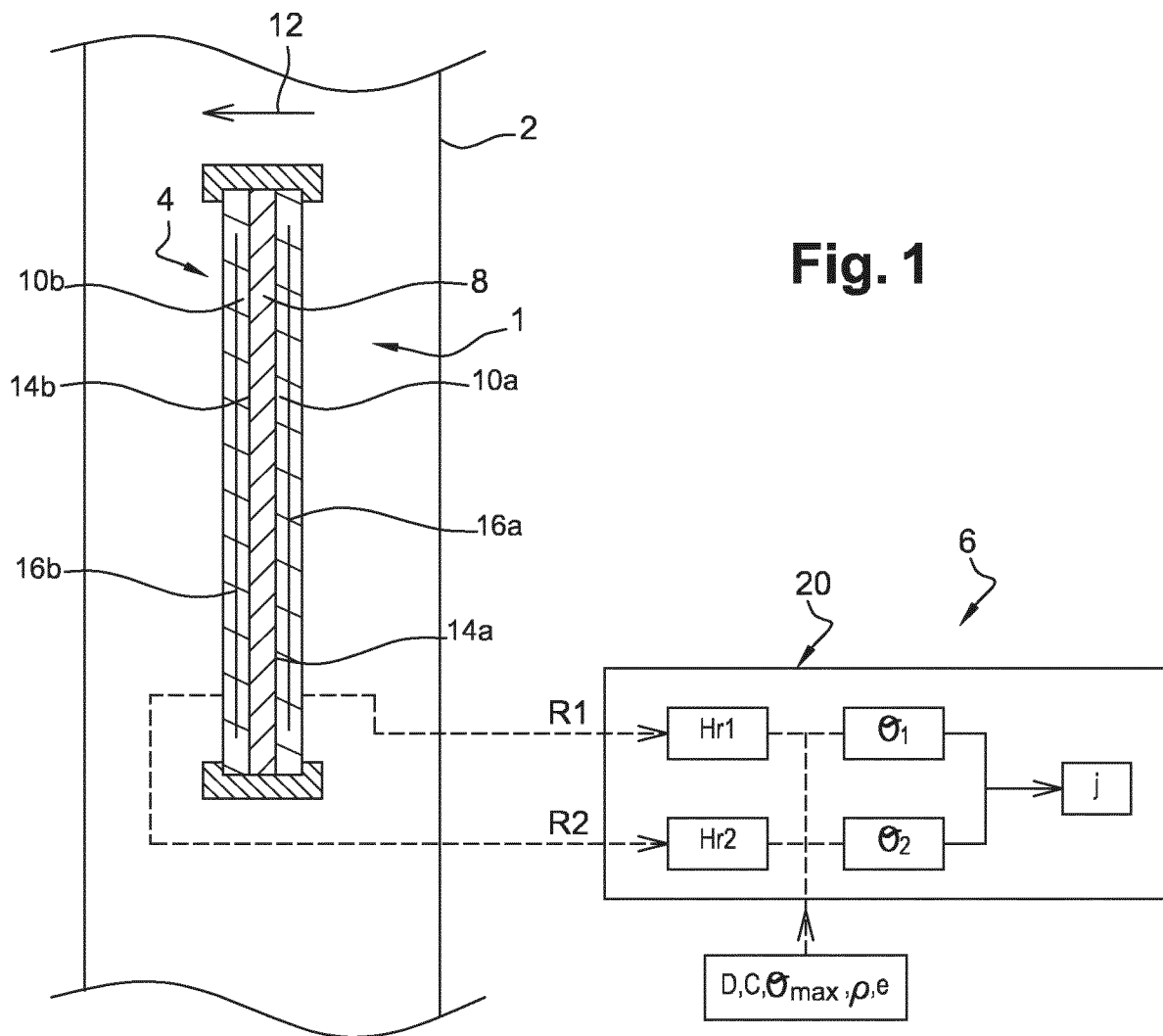
θ la teneur en entité gazeuse (kg d'entité gazeuse / kg de membrane).

5

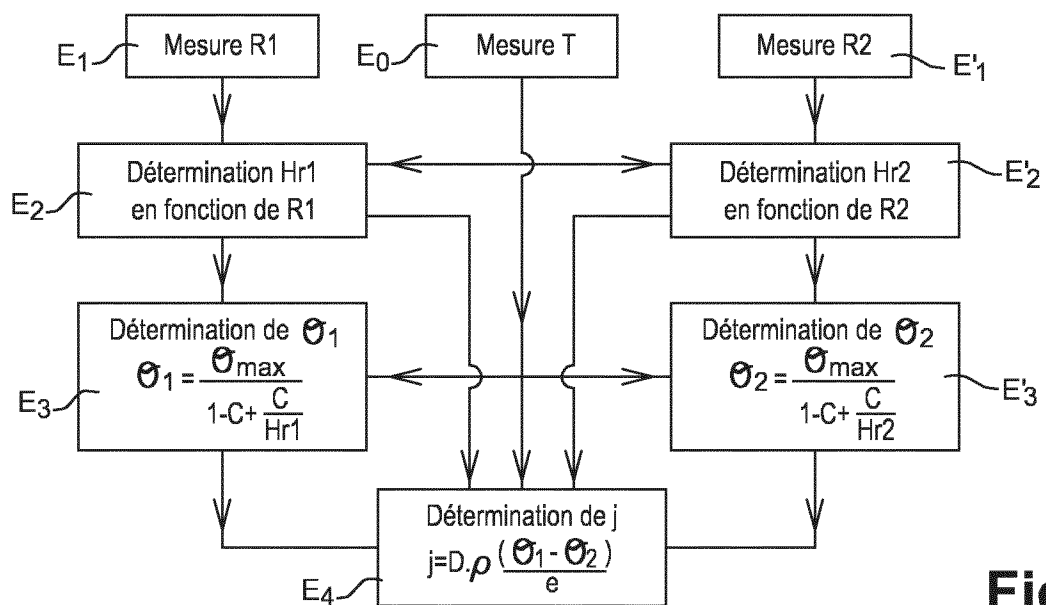
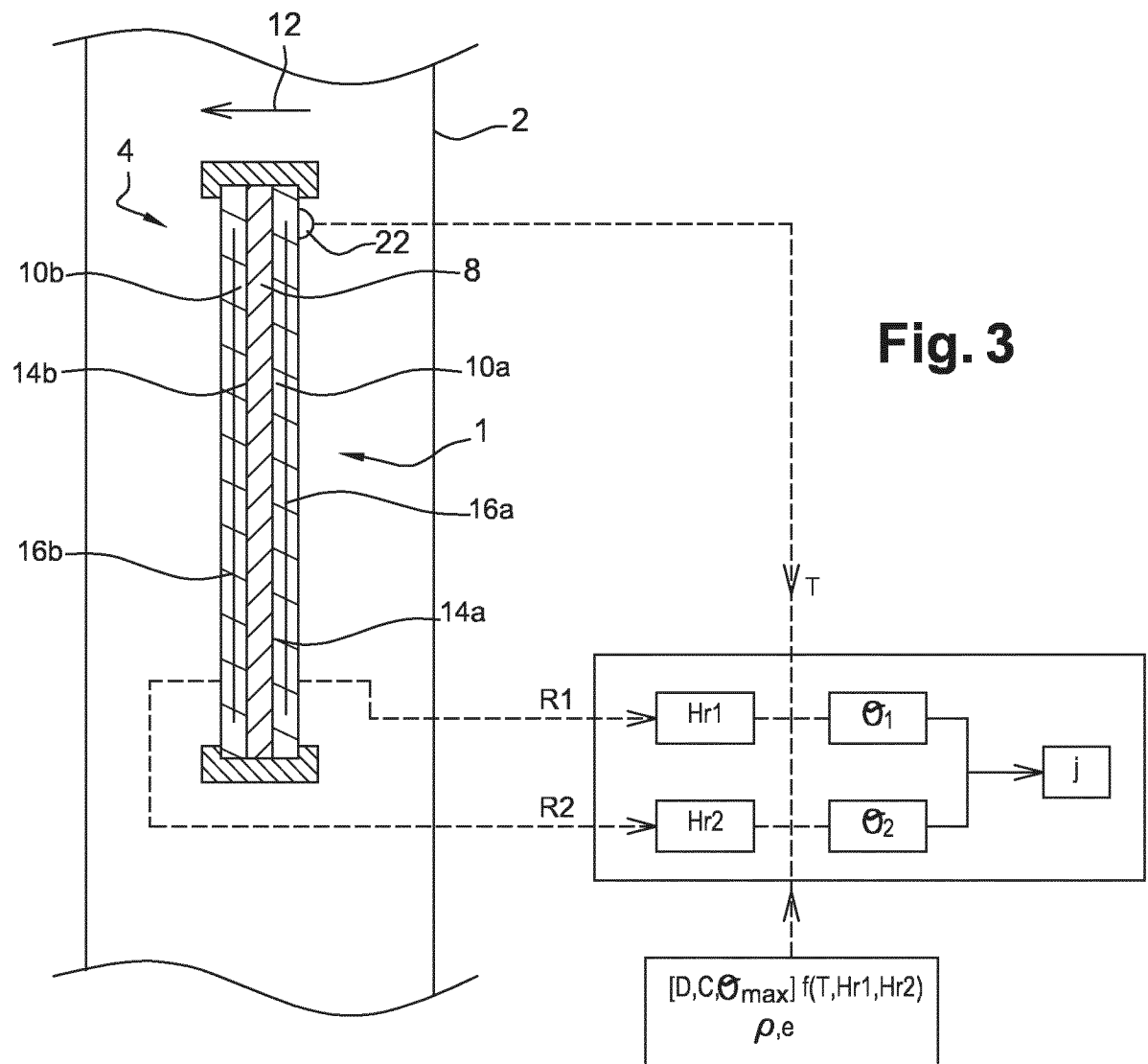
10

S 58725

1/7



2 / 7



3 / 7

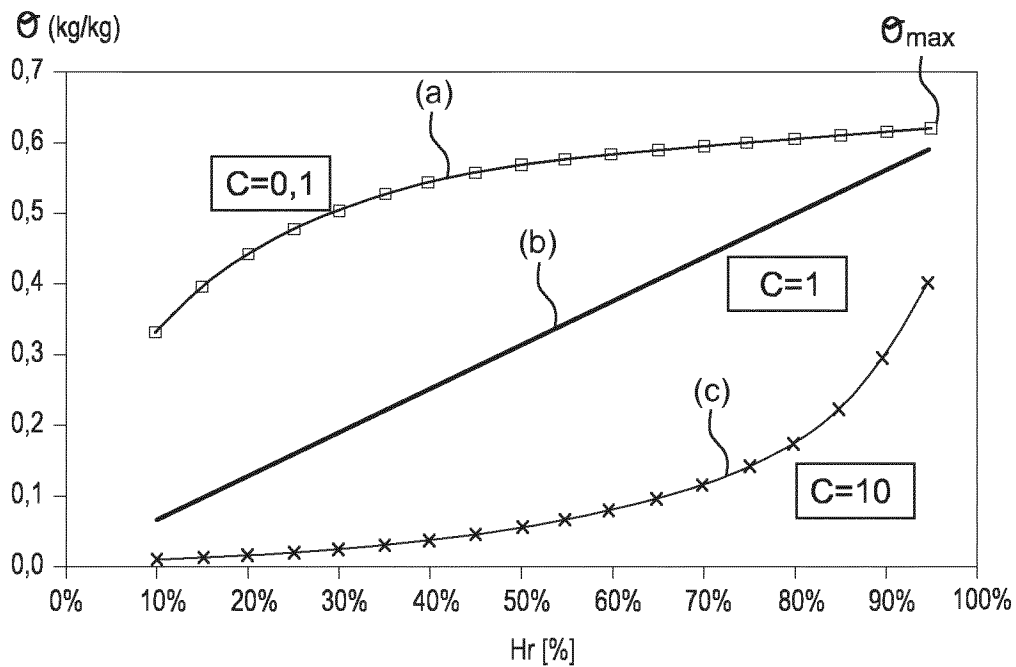


Fig. 5

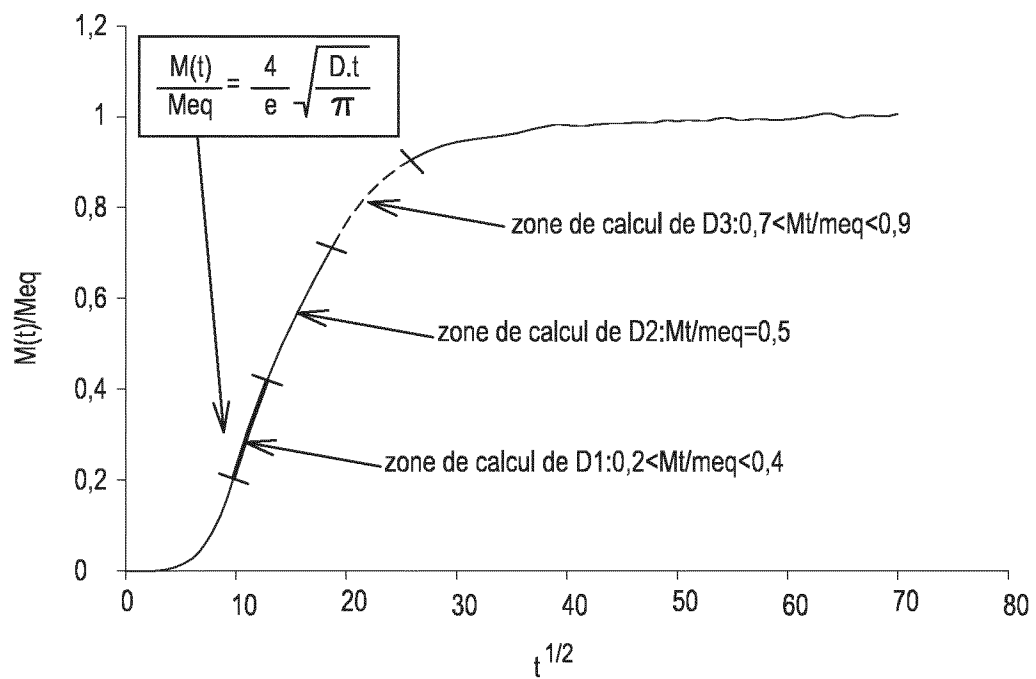


Fig. 6

4 / 7

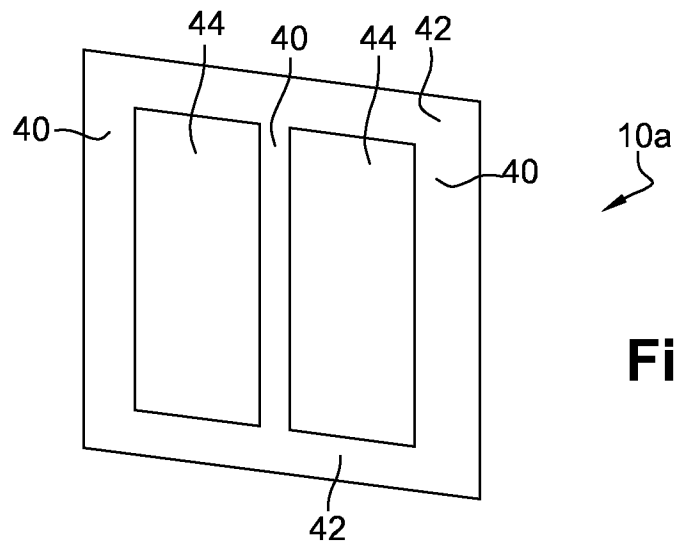


Fig. 7a

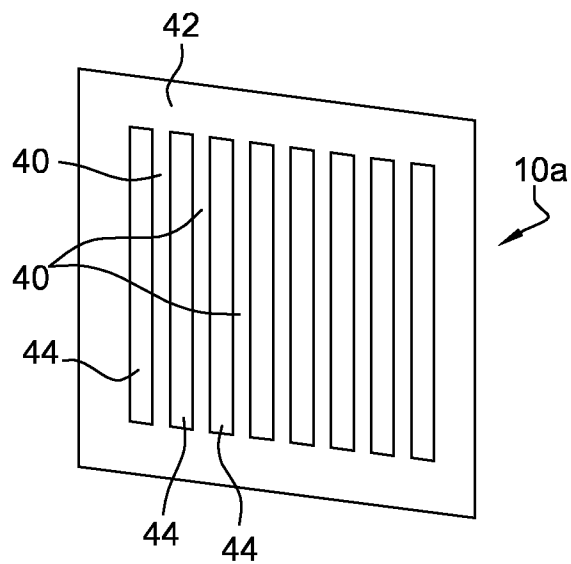


Fig. 7b

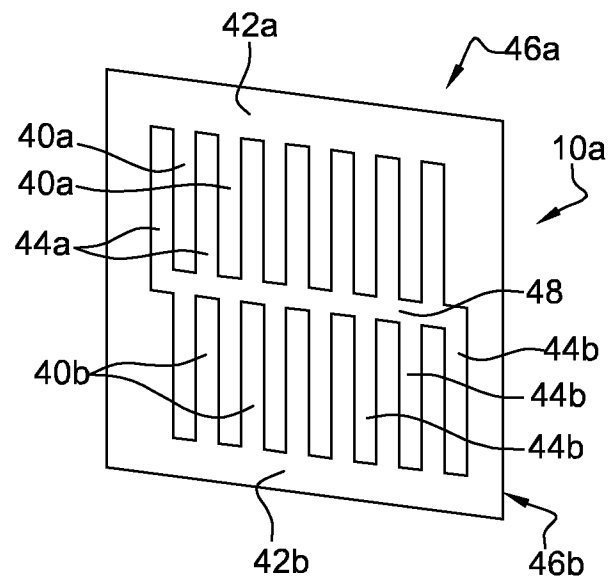


Fig. 7c

5 / 7

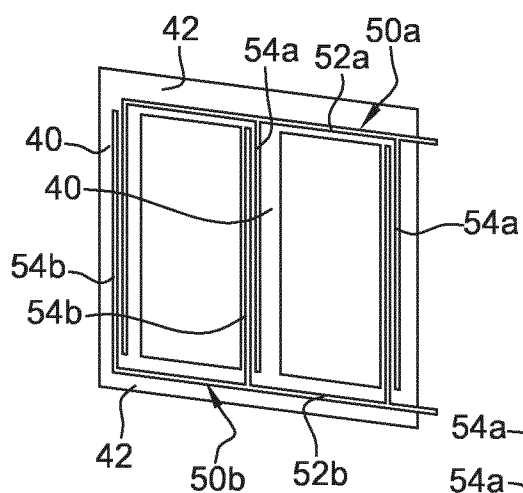


Fig. 8a

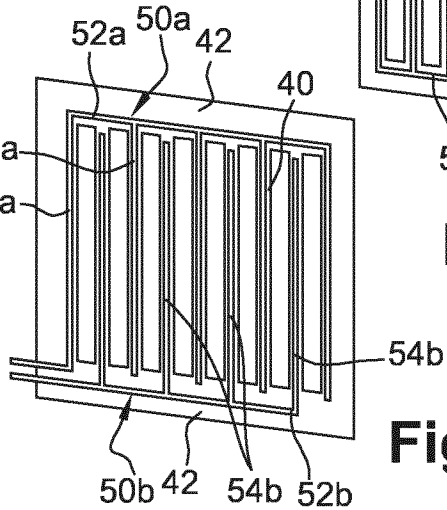


Fig. 8b

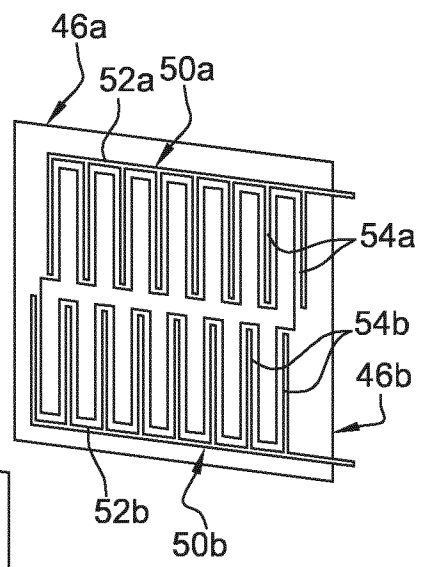


Fig. 8c

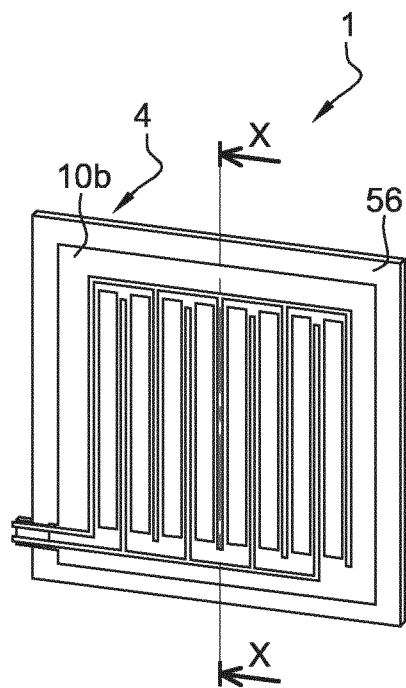


Fig. 9

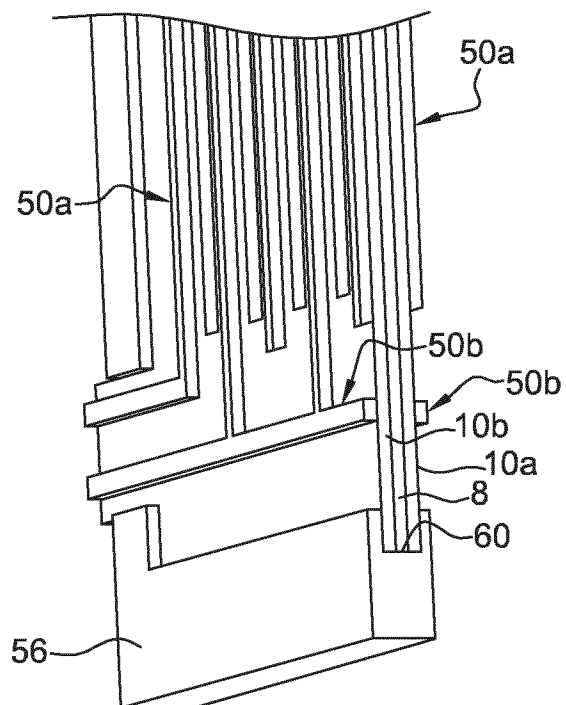


Fig. 10

6 / 7

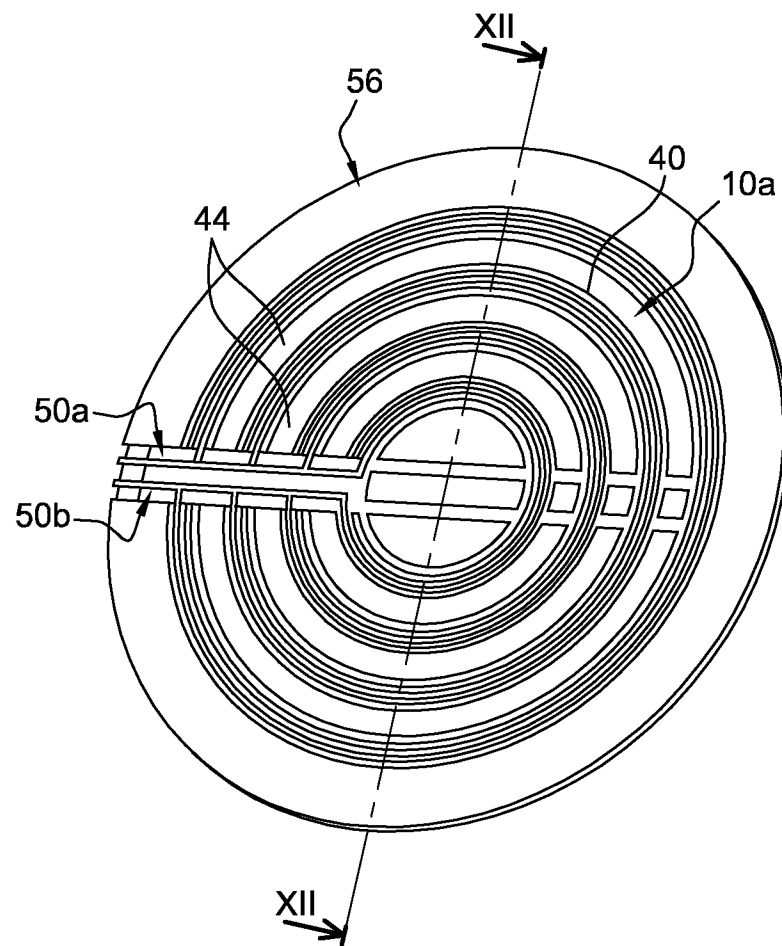


Fig. 11

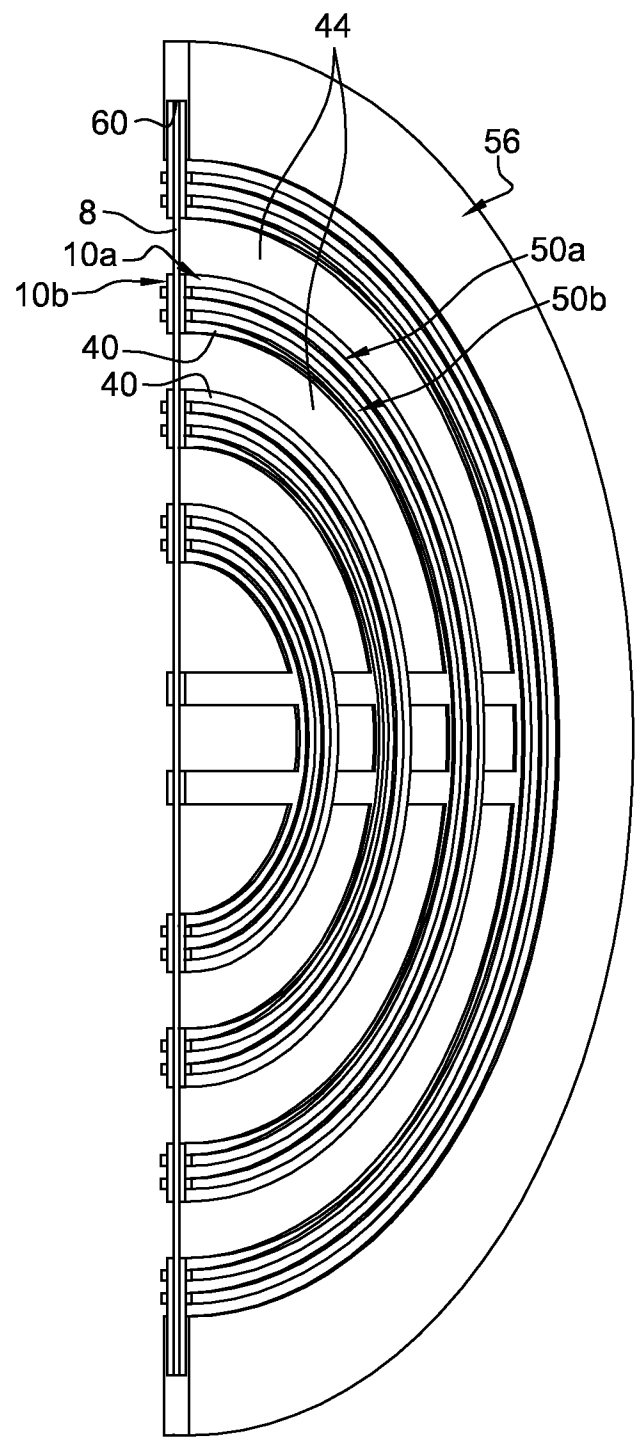


Fig. 12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/072921

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G01N27/12 G01N15/08 H01M8/04 G01N13/00 G01N33/36 ADD. G01N33/38		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01N H01M		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 44 27 244 A1 (PROZESAUTOMATION KOHLER GMBH [DE]) 8 February 1996 (1996-02-08) abstract figure 2 column 1, line 3 - line 5 column 2, line 9 - line 14 -----	1-14
A	DE 39 26 333 A1 (THIEDIG & CO DR [DE]) 14 February 1991 (1991-02-14) abstract figures 1,2 page 3, line 68 - page 4, line 35 -----	1-14
A	WO 02/48702 A2 (SENSIRION AG [CH]; MAYER FELIX [CH]; HORNUNG MARK [CH]; HUMMEL RENE [C] 20 June 2002 (2002-06-20) claim 7 ----- -/-	1-14
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 26 October 2016		Date of mailing of the international search report 08/11/2016
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 Ruchaud, Nicolas

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2016/072921

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 201 163 280 Y (UNIV DONGHUA [CN]) 10 December 2008 (2008-12-10) abstract figure 2 -----	1-14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/072921

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 4427244	A1	08-02-1996	NONE
DE 3926333	A1	14-02-1991	NONE
WO 0248702	A2	20-06-2002	AU 2097502 A 24-06-2002 WO 0248702 A2 20-06-2002
CN 201163280	Y	10-12-2008	NONE

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2016/072921

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01N27/12 G01N15/08 H01M8/04 G01N13/00 G01N33/36 G01N33/38 ADD. Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G01N H01M Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	DE 44 27 244 A1 (PROZESAUTOMATION KOHLER GMBH [DE]) 8 février 1996 (1996-02-08) abrégé figure 2 colonne 1, ligne 3 - ligne 5 colonne 2, ligne 9 - ligne 14 -----	1-14
A	DE 39 26 333 A1 (THIEDIG & CO DR [DE]) 14 février 1991 (1991-02-14) abrégé figures 1,2 page 3, ligne 68 - page 4, ligne 35 -----	1-14
A	WO 02/48702 A2 (SENSIRION AG [CH]; MAYER FELIX [CH]; HORNUNG MARK [CH]; HUMMEL RENE [C] 20 juin 2002 (2002-06-20) revendication 7 ----- -/-	1-14
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
26 octobre 2016		08/11/2016
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Ruchaud, Nicolas

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	CN 201 163 280 Y (UNIV DONGHUA [CN]) 10 décembre 2008 (2008-12-10) abrégé figure 2 -----	1-14

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2016/072921

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 4427244	A1	08-02-1996	AUCUN	
DE 3926333	A1	14-02-1991	AUCUN	
WO 0248702	A2	20-06-2002	AU 2097502 A WO 0248702 A2	24-06-2002 20-06-2002
CN 201163280	Y	10-12-2008	AUCUN	