

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

(19) Organisation Mondiale de la  
Propriété Intellectuelle  
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2025/040864 A1**

(43) Date de la publication internationale  
27 février 2025 (27.02.2025)

(51) Classification internationale des brevets :  
G01F 23/263 (2022.01) G01N 27/22 (2006.01)

té Intellectuelle Rond-point René Ravaud, Réau, 77550  
MOISSY-CRAMAYEL (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2024/051091

(74) Mandataire : ERNEST GUTMANN - YVES PLASSE-  
RAUD S.A.S. ; Chez Plasseraud IP, 104 rue de Richelieu  
CS92104, 75080 PARIS CEDEX 02 (FR).

(22) Date de dépôt international :  
19 août 2024 (19.08.2024)

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,  
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,  
HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,  
KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,  
MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH,  
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS,  
ZA, ZM, ZW.

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
FR2308821 21 août 2023 (21.08.2023) FR

(71) Déposant : SAFRAN AEROSYSTEMS [FR/FR] ; 61 rue  
Pierre Curie, 78370 PLAISIR (FR).

(72) Inventeurs : HAUZERAY, Sylvain ; Safran c/o Centre  
d'Excellence Propriété Intellectuelle Rond-point René Ra-  
vaud, Réau, 77550 MOISSY-CRAMAYEL (FR). DE-  
LAITRE, Gilles ; Safran c/o Centre d'Excellence Propriété

(54) Title: SENSOR, IN PARTICULAR CAPACITIVE SENSOR FOR AIRCRAFT TANK

(54) Titre : CAPTEUR, EN PARTICULIER CAPTEUR CAPACITIF POUR RÉSERVOIR D'AÉRONEF

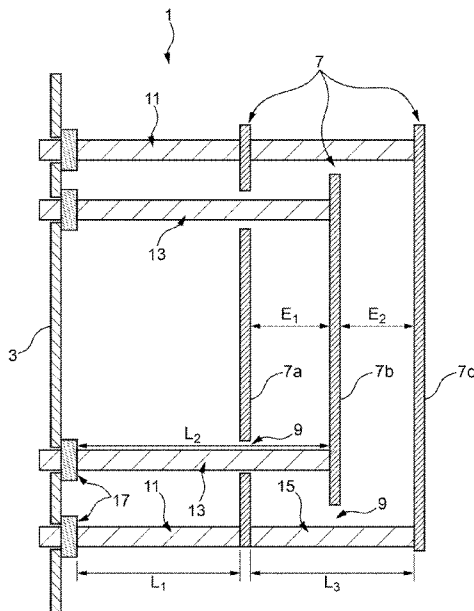


FIG. 3

(57) Abstract: The invention relates to a sensor (1) capable of allowing a mea-  
surement of a dielectric permittivity of a medium, in particular a fuel in a tank,  
comprising: - a support (3), - insulating fixing elements (17), - a plurality of  
plates (7) comprising at least a first plate (7a) and a second plate (7b) which  
are parallel and aligned along a stacking axis (X), - at least one first support  
column (11) connecting the first plate (7a) to one of the insulating fixing ele-  
ments (17), - at least one second support column (13) connecting the second  
plate (7b) to one of the insulating fixing elements (17), - at least one additional  
plate (7c), and - at least one spacer column (15) connecting the additional plate  
to a plate which is the second closest neighbour. The support (3) and the plates  
(7) are made of a same first metal material and the spacer column (15) is made  
of a second metal material.

(57) Abrégé : L'invention concerne un capteur (1) apte à permettre une me-  
sure d'une permittivité diélectrique d'un milieu, notamment un carburant dans  
un réservoir, comprenant : - un support (3), - des éléments de fixation isolants  
(17), - une pluralité de plaques (7) comprenant au moins une première plaque  
(7a) et une deuxième plaque (7b) parallèles et alignées selon un axe d'em-  
piement (X), - au moins une première colonne de support (11) reliant la pre-  
mière plaque (7a) à l'un des éléments de fixation isolants (17), - au moins une  
deuxième colonne de support (13) reliant la deuxième plaque (7b) à l'un  
des éléments de fixation isolants (17), - au moins une plaque supplémentaire  
(7c), et - au moins une colonne d'écartement (15) reliant la plaque supplémen-  
taire à une plaque qui est la deuxième plus proche voisine. Le support (3) et  
les plaques (7) sont constitués d'un même premier matériau métallique et la  
colonne d'écartement (15) est constituée d'un deuxième matériau métallique.



WO 2025/040864 A1

**(84) États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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))

## DESCRIPTION

## TITRE : Capteur, en particulier capteur capacitif pour réservoir d'aéronef

5 **Domaine technique de l'invention**

L'invention concerne un capteur, en particulier un capteur capacitif, apte à mesurer une permittivité diélectrique d'un milieu, notamment un carburant dans un réservoir d'aéronef, ainsi qu'un ensemble comprenant un tel capteur capacitif.

10 **Etat de la technique antérieure**

Une connaissance de la quantité de carburant contenu dans un réservoir d'un aéronef est d'une grande importance au cours d'un vol. Il est donc nécessaire de pouvoir suivre une mesure d'une telle quantité et d'une densité du carburant dans le réservoir en temps réel au cours du vol avec un haut degré de précision.

15 Pour cela, il est connu d'installer des capteurs adaptés, de type jauge, dans les réservoirs de carburant. De tels capteurs sont notamment de type capacitif et mesurent une évolution d'une capacité entre deux plaques s'étendant dans le réservoir et séparées par un entrefer dans lequel pénètre le carburant. On rappelle que dans le cas d'un condensateur plan comprenant deux plaques parallèles de même aire  $A$ , séparées d'une distance  $d$  et plongées dans un milieu de permittivité diélectrique  $\varepsilon$ , la capacité  $C$  mesurée est donnée par  $C = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{A}{d}$ , où  $\varepsilon_0$  est la permittivité diélectrique du vide.

Les jauges sont intégrées dans un système multi-capteur de mesure de la quantité de carburant dans le réservoir, pour lequel sont prévues des redondances et des mesures de correction de dérives, afin d'améliorer une précision et une fiabilité des mesures.

25 Notamment, une mesure destinée à améliorer la précision de tels capteurs capacitifs est une mesure de permittivité diélectrique du carburant, mise en œuvre par un capteur capacitif de compensation placé au voisinage du fond de réservoir, également désigné par l'acronyme « CIC » pour « Capacitance Index Compensator » en anglais.

30 Un tel capteur comprend des plaques métalliques planes disposées parallèles entre elles, fixées à un support et assemblées entre elles au moyen de colonnettes de longueur connues de manière à former des entrefers précis.

Cependant, de tels capteurs sont susceptibles de subir des dilatations lorsque la température varie sur une large plage d'utilisation, typiquement des conditions opérationnelles s'étendant par exemple de  $-55^{\circ}\text{C}$  à  $65^{\circ}\text{C}$ , perturbant le parallélisme des plaques et la régularité des entrefers et entraînant des non-linéarités et des erreurs de mesure.

Une telle dilatation est particulièrement prévalente lorsque les plaques et le support sont constitués de matériaux présentant des coefficients de dilatation thermique très différents, notamment pour un support en matière plastique.

## 5 Présentation de l'invention

L'invention vise à remédier à ces inconvénients, en permettant la mesure de la permittivité diélectrique du carburant dans un réservoir d'aéronef avec des dérives prévisibles et maîtrisées sur une plage de température large.

A cet effet, l'invention a pour objet un capteur, en particulier un capteur capacitif, apte à permettre une mesure d'une permittivité diélectrique d'un milieu, notamment un carburant contenu dans un réservoir d'aéronef, comprenant :

- un support,
- une pluralité d'éléments de fixation isolants fixés au support,
- une pluralité de plaques comprenant au moins une première plaque et une deuxième plaque s'étendant sensiblement parallèles au support et alignées selon un axe d'empilement perpendiculaire au support,
- au moins une première colonne de support ayant une première longueur et reliant la première plaque à l'un des éléments de fixation isolants,
- au moins une deuxième colonne de support ayant une deuxième longueur supérieure à la première longueur et reliant la deuxième plaque à l'un des éléments de fixation isolants,
- au moins une plaque supplémentaire, et
- au moins une colonne d'écartement ayant une troisième longueur et reliant la plaque supplémentaire à une plaque de la pluralité de plaques qui est la deuxième plus proche voisine de la plaque supplémentaire dans la direction du support selon l'axe d'empilement,

caractérisé en ce que le support et les plaques sont constitués d'un même premier matériau métallique, et en ce que la colonne d'écartement est constituée d'un deuxième matériau métallique.

Le premier matériau métallique peut présenter un premier coefficient de dilatation thermique. Le deuxième matériau métallique peut présenter un deuxième coefficient de dilatation thermique.

Le coefficient de dilatation thermique d'un matériau, noté  $\alpha$ , est le coefficient linéaire permettant de déterminer la variation de longueur  $\Delta L$  du matériau dans chaque dimension par rapport à une longueur de référence  $L_0$  à une température de référence, en fonction de la variation de température  $\Delta T$  par rapport à ladite température de référence, de sorte que  $\Delta L =$

$\alpha L \Delta T$ . Pour un matériau isotrope, ce coefficient est le même selon toutes les directions, ce qui est le cas des matériaux considérés ici.

Ainsi, dans le capteur selon l'invention, les plaques forant les électrodes de mesure capacitive et le support vont être modifiés par la température suivant un coefficient identique selon toutes  
5 les directions. Du fait des faibles valeurs de variations, on peut faire une approximation linéaire pour la variation des surfaces des plaques en regard, qui varie avec la température selon un coefficient  $2\alpha$ . L'utilisation d'un second même matériau pour les colonnes d'écartement fera que la dilatation thermique, suivant une direction perpendiculaire aux plaques, maintient le parallélisme des plaques entre elles. L'entrefer varie alors suivant la même loi de dilatation,  
10 avec le coefficient de dilation du deuxième matériau des colonnes.

Le maintien des parallélismes des colonnes et des plaques durant les dilatations thermiques fait que le calcul de la valeur de capacité peut utiliser la formule simple des capacités à plaques parallèles et seulement prendre en compte la variation de surface et d'entrefer pour le calcul de la valeur du condensateur.

15 La première colonne de support peut être constituée d'un troisième matériau métallique, notamment présentant un troisième coefficient de dilatation thermique. La deuxième colonne de support peut être constituée d'un quatrième matériau métallique, notamment présentant un quatrième coefficient de dilatation thermique.

Un tel capteur permet d'éviter les distorsions causées par les différences de dilatation  
20 thermique entre le support et les plaques selon des directions transverses à l'axe d'empilement. Un tel capteur permet de prévoir et de maîtriser les variations de capacité dues aux dilatations thermiques selon la direction de l'axe d'empilement à partir du premier coefficient de dilatation thermique et du deuxième coefficient de dilatation thermique, sur la plage de température considérée.

25 Un deuxième coefficient de dilatation thermique du deuxième matériau métallique peut être sensiblement égal au double d'un premier coefficient de dilatation thermique du premier matériau métallique.

Une telle caractéristique permet d'avoir une variation sensiblement nulle de la capacité du capteur avec les variations de températures, sur la plage de températures considérée.

30 Les éléments de fixation isolants peuvent être constitués d'un matériau polymère, en particulier le polyétheréthercétone, notamment comprenant des fibres de verre, spécifiquement au moins 25% de fibres de verre.

Une telle caractéristique permet d'avoir une fixation rigide des colonnes de support sur le support, avec des éléments de fixation isolants présentant des dilatations thermiques faibles  
35 et sensiblement égales aux matériaux métalliques utilisés sur la plage de température considérée.

La pluralité de plaques peut comprendre un nombre pair de plaques. Dans un tel cas, le deuxième matériau métallique et le troisième matériau métallique, et notamment le quatrième matériau métallique, peuvent être identiques.

La pluralité de plaques peut comprendre un nombre impair de plaques, notamment trois ou cinq plaques. Dans un tel cas, le troisième matériau métallique et le quatrième matériau métallique peuvent être différents.

Une telle caractéristique permet d'avoir un assemblage mécanique ayant une bonne rigidité et une capacité totale suffisante pour obtenir une bonne précision de mesure de la permittivité diélectrique.

Par ailleurs, le capteur peut comprendre un même nombre de premières colonnes de support, de deuxième colonnes de support et de colonnes d'écartement.

Une telle caractéristique permet d'avoir un assemblage mécanique symétrique plus rigide et robuste aux distorsions.

L'invention concerne également un réservoir de carburant pour aéronef comprenant un capteur capacitif comme plus haut.

### **Brève description des figures**

La présente invention sera mieux comprise et d'autres caractéristiques et avantages apparaîtront encore à la lecture de la description détaillée qui suit comprenant des modes de réalisation donnés à titre illustratif en référence avec les figures annexées, présentés en tant qu'exemples non limitatifs, qui pourront servir à compléter la compréhension de l'invention et l'exposé de sa réalisation et, le cas échéant, contribuer à sa définition, sur lesquelles :

- La figure 1 est une vue en perspective éclatée d'un support et de plaques d'un capteur capacitif selon l'invention ;
- la figure 2 est une vue en coupe d'un capteur capacitif selon un premier mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 3 est une représentation schématique du capteur capacitif de la figure 2 ;  
et
- la figure 4 est une représentation schématique d'un capteur capacitif selon un deuxième mode de réalisation de l'invention.

### **Description détaillée de l'invention**

Les figures 1 à 3 sont respectivement des vues en perspective éclatée, en coupe et une représentation schématique d'un capteur 1, notamment un capteur capacitif 1, selon un premier mode de réalisation de l'invention.

Le capteur 1 est apte à permettre une mesure d'une permittivité diélectrique  $\epsilon$  d'un milieu. En particulier, le capteur 1 est notamment destiné à être installé dans un réservoir de carburant d'aéronef, afin de permettre une mesure d'une permittivité diélectrique  $\epsilon$  du carburant.

Le capteur 1 est notamment destiné à être placé au voisinage d'un fond du réservoir afin d'être  
5 entièrement immergé dans le carburant au cours de l'ensemble d'un vol de l'aéronef.

Selon l'invention, le capteur 1, en particulier le capteur capacitif 1, comprend

- un support 3, et
- une pluralité de plaques 7, en particulier une pluralité de plaques métalliques 7, représentées en vue en perspective éclatée sur la figure 1.

10 Le support 3 est notamment constitué d'une plaque plane réalisée dans un premier matériau métallique présentant un premier coefficient de dilatation thermique  $\alpha_1$ .

Pour un matériau métallique, le coefficient de dilatation thermique  $\alpha$  varie peu sur une large plage de température, et notamment sur une plage de température considérée de  
15 fonctionnement pour le capteur 1. Notamment, la plage de température considérée s'étend par exemple de  $-55^{\circ}\text{C}$  à  $65^{\circ}\text{C}$  et correspond aux conditions opérationnelles du carburant dans un réservoir d'aéronef.

Selon une alternative de réalisation, le capteur 1 peut comprendre un boîtier 5, en particulier apte à contenir une électronique de mesure du capteur 1. Dans un tel mode de réalisation, le  
20 boîtier 5 est fixé au support 3 et est apte, en particulier, à contenir l'électronique de mesure du capteur 1 dans un espace interne isolé de l'extérieur. A cet effet, l'électronique de mesure peut comprendre des composants numériques et/ou analogiques, selon les cas.

En conditions de fonctionnement, l'électronique de mesure est isolée du carburant contenu dans le réservoir par le boîtier 5, afin d'éviter que son fonctionnement ne génère un  
échauffement et/ou une étincelle au voisinage du carburant.

25 Plus particulièrement, l'espace interne du boîtier 5 peut être noyé par un matériau isolant, afin d'améliorer l'isolation de l'électronique de mesure.

Les plaques 7 peuvent être sensiblement rectangulaires et planes. De plus, les plaques 7 peuvent être réalisées dans le même premier matériau métallique que le support 3. Alternativement, les plaques 7 peuvent être d'une géométrie différente, notamment circulaires  
30 ou autres susceptibles d'être compatibles avec une fonction des plaques 7.

Les plaques 7 sont disposées sensiblement parallèles entre elles et alignées selon un axe d'empilement X, s'étendant selon une direction perpendiculaire aux plaques 7 et au support 3. Les plaques 7 sont agencées de sorte à former deux ensembles de plaques 7. Plus  
35 spécifiquement, les plaques 7 d'un même ensemble sont connectées électriquement entre elles. De plus, selon un mode particulier de réalisation, les plaques 7 de deux ensembles sont alternées selon la direction de l'axe d'empilement X.

Par ailleurs, les plaques 7 d'un ensemble de plaques peuvent être identiques entre elles.

Un tel agencement permet aux plaques 7 de former un condensateur plan, les deux ensembles de plaques 7 étant reliés électriquement à l'électronique de mesure placée dans le boîtier 3, les connections n'étant pas représentées sur les figures.

5 Les espaces séparant les plaques 7 en regard les unes des autres sont destinés à recevoir le carburant contenu dans le réservoir, la capacité mesurée par le condensateur plan dépendant alors linéairement de la permittivité diélectrique  $\epsilon$  du carburant.

Dans l'exemple représenté sur la figure 1, le capteur capacitif comprend trois plaques 7, parmi lesquelles une première plaque 7a, une deuxième plaque 7b et une troisième plaque 7c.

10 La troisième plaque 7c constitue une plaque supplémentaire par rapport à la première plaque 7a et la deuxième plaque 7b de la pluralité de plaques 7.

Selon l'exemple représenté sur la figure 1,

- la première plaque 7a est disposée entre le support 3 et la deuxième plaque 7b, selon la direction de l'axe d'empilement X, et
- 15 - la deuxième plaque 7b est disposée entre la première plaque 7a et la troisième plaque 7c.

La première plaque 7a et la troisième plaque 7c sont identiques entre elles, connectées électriquement et forment un premier ensemble. La deuxième plaque 7b forme le deuxième ensemble.

20 Plus particulièrement, Les plaques 7 présentent des orifices de fixation 8 et des ouvertures de passage 9 traversantes, selon la direction de l'axe d'empilement X.

Dans l'exemple représenté, les ouvertures de passage 9 sont sensiblement rectangulaires et débouchent sur au moins un bord latéral 10 des plaques 7.

Alternativement, les ouvertures de passage 9 peuvent présenter des formes arrondies, 25 circulaires ou oblongues et/ou s'étendre à l'écart des bords latéraux 10 des plaques 7.

Les ouvertures de passage 9 des plaques 7 de chaque ensemble de plaques sont situées en regard des orifices de fixation 8 des plaques 7 de l'autre ensemble de plaques, selon la direction de l'axe d'empilement X.

La figure 2 est une vue en coupe dans un plan horizontal parallèle à l'axe d'empilement X du 30 capteur capacitif 1 assemblé. Le capteur capacitif 1 assemblé est représenté de manière schématique à la figure 3.

Comme cela est visible sur les figures 2 et 3, le capteur capacitif 1 comprend un ensemble de premières colonnes de support 11, un ensemble de deuxièmes colonnes de support 13, et un ensemble de colonnes d'écartement 15. De plus, le capteur capacitif 1 comprend des éléments 35 de fixation isolants 17.

Dans l'exemple représenté,

- l'ensemble de premières colonnes de support 11 comprend quatre premières colonnes de support,
- l'ensemble de deuxièmes colonnes de support 13 comprend quatre deuxièmes colonnes de support, et
- 5 - l'ensemble de colonnes d'écartement 15 comprend quatre colonnes d'écartement 15.

Les premières colonnes de support 11, les deuxièmes colonnes de support 13 et les colonnes d'écartement 15 peuvent présenter des formes sensiblement cylindriques tubulaires.

Les premières colonnes de support 11 définissent des premiers conduits centraux 12 s'étendant entre leurs extrémités et permettant d'engager un organe de fixation.

10 Les organes de fixation sont, par exemple, des boulons et ne sont pas représentés sur la figure 2 par souci de clarté.

Les premières colonnes de support 11 relient mécaniquement la première plaque 7a aux éléments de fixation isolants 17 fixés au support 3. Plus particulièrement, les premières colonnes de support 11 sont fixées à la première plaque 7a par leur extrémité libre, par exemple par boulonnage, à travers les premiers conduits centraux 12. De plus, les premières colonnes de support 11 présentent des longueurs  $L_1$  identiques, de sorte que la première plaque 7a s'étend sensiblement parallèle au support 3.

Les deuxièmes colonnes de support 13 relient mécaniquement la deuxième plaque 7b aux éléments de fixation isolants 17 fixés au support 3. Plus particulièrement, les deuxièmes colonnes de support 13 sont fixées à la deuxième plaque 7b par leur extrémité libre, par exemple par boulonnage, à travers les premiers conduits centraux 12.

Notamment, les deuxièmes colonnes de support 13 présentent des formes identiques aux premières colonnes de support 11 à l'exception du fait que la longueur  $L_2$  des deuxièmes colonnes de support 13 est plus grande que la longueur  $L_1$  des premières colonnes de support 25 11.

Les deuxièmes colonnes de support 13 définissent des deuxièmes conduits centraux 14 d'engagement des organes de fixation.

Les deuxièmes colonnes de support 13 sont positionnées de manière à traverser la première plaque 7a par les ouvertures de passage 9 de la première plaque 7a.

30 De plus, les deuxièmes colonnes de support 13 présentent des longueurs  $L_2$  identiques, de sorte que la deuxième plaque 7b s'étend sensiblement parallèle au support 3 et à la première plaque 7a.

Les colonnes d'écartement 15 relient mécaniquement la troisième plaque 7c à la première plaque 7a. Les colonnes d'écartement 15 s'étendent dans la continuité des premières colonnes de support 11, du côté opposé de la première plaque 7a, et à travers les ouvertures de passage 9 de la deuxième plaque 7b.

Les colonnes d'écartement 15 définissent des troisièmes conduits centraux 16 d'engagement des organes de fixation.

Les colonnes d'écartement 15 présentent des longueurs  $L_3$  identiques. La longueur  $L_3$  des colonnes d'écartement 15 est déterminée à partir de la longueur  $L_1$  des premières colonnes de support 11 et la longueur  $L_2$  des deuxièmes colonnes de support 13 afin qu'une distance  $E_1$  séparant la première plaque 7a de la deuxième plaque 7b soit égale à une distance  $E_2$  séparant la deuxième plaque 7b de la troisième plaque 7c.

Plus particulièrement, la somme de la distance  $E_1$  séparant la première plaque 7a de la deuxième plaque 7b, de la distance  $E_2$  séparant la deuxième plaque 7b de la troisième plaque 7c et d'une épaisseur de la deuxième plaque 7b est égale à la longueur  $L_3$  des colonnes d'écartement 15.

L'épaisseur de la deuxième plaque 7b étant largement inférieure à la longueur  $L_3$  des colonnes d'écartement 15, les variations de l'épaisseur de la deuxième plaque 7b dues aux dilatations thermiques sont négligeables devant celles de la longueur  $L_3$ .

Les colonnes d'écartement 15 sont réalisées en un deuxième matériau métallique présentant un deuxième coefficient de dilatation thermique  $\alpha_2$ . Le deuxième matériau métallique peut être identique au premier matériau métallique ou être différent.

Les premières colonnes de support 11 sont constituées d'un troisième matériau métallique présentant un troisième coefficient de dilatation thermique  $\alpha_3$ . Les deuxièmes colonnes de support 13 sont constituées d'un quatrième matériau métallique, présentant un quatrième coefficient de dilatation thermique  $\alpha_4$ .

Le troisième matériau métallique peut être identique au deuxième matériau métallique et/ou au premier matériau métallique, ou être différent.

De plus, le quatrième matériau métallique peut être identique au troisième matériau métallique. Notamment, lorsque le nombre de plaques 7 du capteur capacitif 1 est impair, comme dans le cas représenté sur les figures 1 à 3, le deuxième matériau métallique, le troisième matériau métallique et/ou le quatrième matériau métallique peuvent être différents et présenter des coefficients de dilatation thermiques différents.

Notamment, lorsque le nombre de plaques 7 est pair, il est nécessaire que le troisième matériau des premières colonnes de support 11 et le quatrième matériau métallique des deuxièmes colonnes de support 13 soient identiques au deuxième matériau formant les colonnes d'écartement 15. Un tel choix est notamment nécessaire afin de conserver des variations de la distance  $E_1$  séparant la première plaque 7a et la deuxième plaque 7b et les variations des distances séparant les autres paires de plaques en regard.

De telles conditions permettent de prévoir de manière simple et fiable les variations de la capacité du capteur capacitif 1 avec la température.

Les éléments de fixation isolants 17 sont prévus pour fixer mécaniquement les premières colonnes de support 11 et les deuxièmes colonnes de support 13 au support 3 tout en les isolant électriquement du support 3.

Les éléments de fixation isolants 17 sont, par exemple, du type connu sous l'appellation de douille-canon. Les éléments de fixation isolants 17 présentent, par exemple, une forme tubulaire allongée définissant un passage central 18 d'engagement de l'organe de fixation, complétée d'une rondelle transverse 19 destinée à s'interposer entre la première colonne de support 11 et le support 3 et/ou entre la deuxième colonne de support 13 et le support 3.

Les éléments de fixation 17 peuvent être réalisés à partir d'un matériau polymère dur et rigide, présentant un coefficient de dilatation thermique  $\alpha_4$  faible sur la plage de température considérée. Ainsi, les dilatations thermiques des éléments de fixation isolants 17 suite aux variations de température sont négligeables devant celles du support 3, des plaques 7, des premières colonnes de support 11, des deuxièmes colonnes de support 13 et des colonnes d'écartement 15.

Lors de variations de températures, dans la plage considérée, la longueur  $L_1$  des premières colonnes de support 11, la longueur  $L_2$  des deuxièmes colonnes de support 13 et la longueur des colonnes d'écartement 15 varient linéairement avec le deuxième coefficient de dilatation thermique  $\alpha_2$ , et le troisième coefficient de dilatation thermique  $\alpha_3$  correspondants.

De même, les surfaces des plaques 7 en regard les unes des autres varient, au premier ordre, comme le double du premier coefficient de dilatation thermique  $\alpha_1$ .

Pour un condensateur plan à deux plaques, la capacité est calculée par la formule

$$C = \frac{\epsilon * S}{E}$$

où C est la capacité,

$\epsilon$  est la permittivité diélectrique du milieu séparant les plaques,

S est la surface des plaques en regard l'une de l'autre, et

E est l'écart entre les plaques.

Pour un condensateur à trois plaques ou plus, la capacité totale est la somme des capacités des couples de plaques 7 en regard, calculées avec la formule précédente.

Ainsi, le coefficient de variation linéaire de la capacité du capteur capacitif 1 avec la température, comme conséquence des dilatations thermiques des plaques 7 et des colonnes, est égal à

$$\frac{\Delta C}{C_0} * \frac{1}{\Delta T} = 2 * \alpha_1 - \alpha_2$$

où  $\Delta C$  est la variation de capacité entre la température initiale et une température mesurée,

$C_0$  est la capacité à température initiale,

$\Delta T$  est la variation de température entre la température initiale et la température mesurée,

$\alpha_1$  est le premier coefficient de dilatation thermique du premier matériau métallique, et

$\alpha_2$  est le deuxième coefficient de dilatation thermique du deuxième matériau métallique.

La valeur du coefficient de variation linéaire de la capacité permet de prévoir des dérives de la mesure de la permittivité diélectrique  $\epsilon$  du carburant à partir d'une connaissance des coefficients de dilatation thermiques du premier matériau métallique et du deuxième matériau métallique.

Avantageusement, le choix du premier matériau métallique et du deuxième matériau métallique, afin d'avoir le deuxième coefficient de dilatation thermique  $\alpha_2$  égal au double du premier coefficient de dilatation thermique  $\alpha_1$ , permet d'avoir une dérive en température sensiblement nulle de la capacité du capteur capacitif.

Selon un exemple de réalisation du capteur capacitif 1 selon le premier mode de réalisation de l'invention, le premier matériau métallique constituant les plaques 7 et le support 3 est l'aluminium, avec un premier coefficient de dilatation thermique  $\alpha_1$

$$\alpha_1 = 23,9 \text{ ppm/}^\circ\text{C (partie par million par degré Celsius)} = 23,9 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}.$$

Plus particulièrement, dans l'exemple de réalisation présenté, le capteur capacitif 1 comprend trois plaques 7.

Les premières colonnes de support 11, les deuxièmes colonnes de support 13 et les colonnes d'écartement 15 peuvent être réalisées en acier inoxydable, notamment du type désigné par le sigle Inox 304.

Le deuxième matériau métallique et le troisième matériau métallique peuvent alors être identiques et présentent des coefficients de dilatation thermique, respectivement le deuxième coefficient de dilatation thermique  $\alpha_2$  et le troisième coefficient de dilatation thermique  $\alpha_3$ , égaux :

$$\alpha_2 = \alpha_3 = 17,3 \text{ ppm/}^\circ\text{C (partie par million par degré Celsius)} = 17,3 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}.$$

Le matériau polymère des éléments de fixation isolants 17 peut être le polyétheréthercétone, également désigné par l'acronyme « PEEK » pour « polyetheretherketone » en anglais, notamment comprenant 30% en masse de fibres de verre.

Le coefficient de variation linéaire de la capacité du capteur capacitif 1 a été mesuré sur la plage de températures considérée et trois valeurs ont été obtenues de +27 ppm/°C, +29 ppm/°C et +30 ppm/°C.

De telles valeurs montrent une bonne adéquation avec la valeur théorique calculée selon la formule précédente, de

$$\frac{\Delta C}{C_0} * \frac{1}{\Delta T} = 2 * \alpha_1 - \alpha_2 = +30,5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$$

La figure 4 est une représentation schématique du capteur capacitif 1 selon un deuxième mode de réalisation de l'invention.

Le capteur capacitif 1 selon le deuxième mode de réalisation comprend cinq plaques 7. En particulier une première plaque 7a, une troisième plaque 7c et une cinquième plaque 7e forment un premier ensemble de plaques identiques entre elles et connectées électriquement. Par ailleurs, une deuxième plaque 7b et une quatrième plaque 7d forment un deuxième ensemble de plaques identiques entre elles et connectées électriquement.

La troisième plaque 7c, la quatrième plaque 7d et la cinquième plaque 7e constituent des plaques supplémentaires par rapport à la première plaque 7a et la deuxième plaque 7b de la pluralité de plaques 7.

L'assemblage du support 3, de la première plaque 7a, de la deuxième plaque 7b et de la troisième plaque 7c au moyen des premières colonnes de support 11, des deuxième colonnes de support 13, des colonnes d'écartement 15 et des éléments de fixation isolants 17 est identique à celui du premier mode de réalisation décrit précédemment.

La quatrième plaque 7d est fixée et reliée électriquement à la deuxième plaque 7b par un jeu de colonnes d'écartement 15 traversant les ouvertures de passage 9 de la troisième plaque 7c.

La cinquième plaque 7e est fixée et reliée électriquement à la troisième plaque 7c par un jeu de colonnes d'écartement 15 traversant les ouvertures de passage 9 de la quatrième plaque 7d.

Les cinq plaques 7 du capteur capacitif 1 selon le deuxième mode de réalisation forment entre elles quatre entrefers présentant des distances respectives

$E_1$ , séparant la première plaque 7a de la deuxième plaque 7b,

$E_2$ , séparant la deuxième plaque 7b de la troisième plaque 7c,

$E_3$ , séparant la troisième plaque 7c de la quatrième plaque 7d, et

$E_4$  séparant la quatrième plaque 7d de la cinquième plaque 7e,

égales, recevant le carburant contenu dans le réservoir.

Un tel agencement permet, pour des surfaces des plaques métalliques 7 et une longueur  $L_3$  des colonnes d'écartement 15 identiques, d'avoir une capacité totale double de celle du capteur capacitif 1 selon le premier mode de réalisation, améliorant ainsi la précision des mesures de permittivité diélectrique du carburant.

Selon un autre exemple de réalisation du capteur capacitif 1 selon le deuxième mode de réalisation, le premier matériau métallique constituant les plaques métalliques 7 et le support 3 est le titane, avec un premier coefficient de dilatation thermique  $\alpha_1$

$$\alpha_1 = 8,64 \text{ ppm/}^\circ\text{C (partie par million par degré Celsius)} = 8,64 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}.$$

- 5 Le coefficient de variation linéaire de la capacité du capteur capacitif 1 a été mesuré sur la plage de températures considérée. Plusieurs séries de mesures donnent une valeur moyenne du coefficient de variation linéaire de la capacité sensiblement nulle.

De telles valeurs montrent une bonne adéquation avec la valeur théorique calculée selon la formule précédente, de

10 
$$\frac{\Delta C}{C_0} * \frac{1}{\Delta T} = 2 * \alpha_1 - \alpha_2 = 0,02 \text{ ppm/}^\circ\text{C}$$

## REVENDICATIONS

1. Capteur (1), en particulier un capteur capacitif (1), apte à permettre une mesure d'une permittivité diélectrique ( $\epsilon$ ) d'un milieu, notamment un carburant contenu dans un réservoir d'aéronef, comprenant :
- un support (3),
  - une pluralité d'éléments de fixation isolants (17) fixés au support (3),
  - une pluralité de plaques (7) comprenant au moins une première plaque (7a) et une deuxième plaque (7b) s'étendant sensiblement parallèles au support (3) et alignées selon un axe d'empilement (X) perpendiculaire au support (3),
  - au moins une première colonne de support (11) ayant une première longueur ( $L_1$ ) et reliant la première plaque (7a) à l'un des éléments de fixation isolants (17),
  - au moins une deuxième colonne de support (13) ayant une deuxième longueur ( $L_2$ ) supérieure à la première longueur ( $L_1$ ) et reliant la deuxième plaque (7b) à l'un des éléments de fixation isolants (17),
  - au moins une plaque supplémentaire (7c, 7d, 7e), et
  - au moins une colonne d'écartement (15) ayant une troisième longueur ( $L_3$ ) et reliant la plaque supplémentaire (7c, 7d, 7e) à une plaque de la pluralité de plaques (7) qui est la deuxième plus proche voisine de la plaque supplémentaire (7c, 7d, 7e) dans la direction du support (3) selon l'axe d'empilement (X),
- caractérisé en ce que le support (3) et les plaques (7) sont constitués d'un même premier matériau métallique, et en ce que la colonne d'écartement (15) est constituée d'un deuxième matériau métallique.
2. Capteur capacitif (1) selon la revendication précédente, dans lequel un deuxième coefficient de dilatation thermique ( $\alpha_2$ ) du deuxième matériau métallique est sensiblement égal au double d'un premier coefficient de dilatation thermique ( $\alpha_1$ ) du premier matériau métallique.
3. Capteur (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les éléments de fixation isolants (17) sont constitués d'un matériau polymère, en particulier le polyétheréthercétone, notamment comprenant des fibres de verre, spécifiquement au moins 25% de fibres de verre.

4. Capteur (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la première colonne de support (11) est constituée d'un troisième matériau métallique et/ou la deuxième colonne de support (13) est constituée d'un quatrième matériau métallique.
- 5 5. Capteur (1) selon la revendication précédente, dans lequel la pluralité de plaques (7) comprend un nombre pair de plaques (7).
6. Capteur (1) selon la revendication précédente, dans lequel le deuxième matériau métallique et le troisième matériau métallique, et notamment le quatrième matériau  
10 métallique, sont identiques.
7. Capteur (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel la pluralité de plaques (7) comprend un nombre impair de plaques (7), notamment trois ou cinq plaques  
15 (7).
8. Capteur (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel il comprend un même nombre de premières colonnes de support (11), de deuxièmes colonnes de support (13) et de colonnes d'écartement (15).
- 20 9. Réservoir de carburant pour avion comprenant un capteur (1) selon l'une des revendications précédentes.

[Fig. 1]

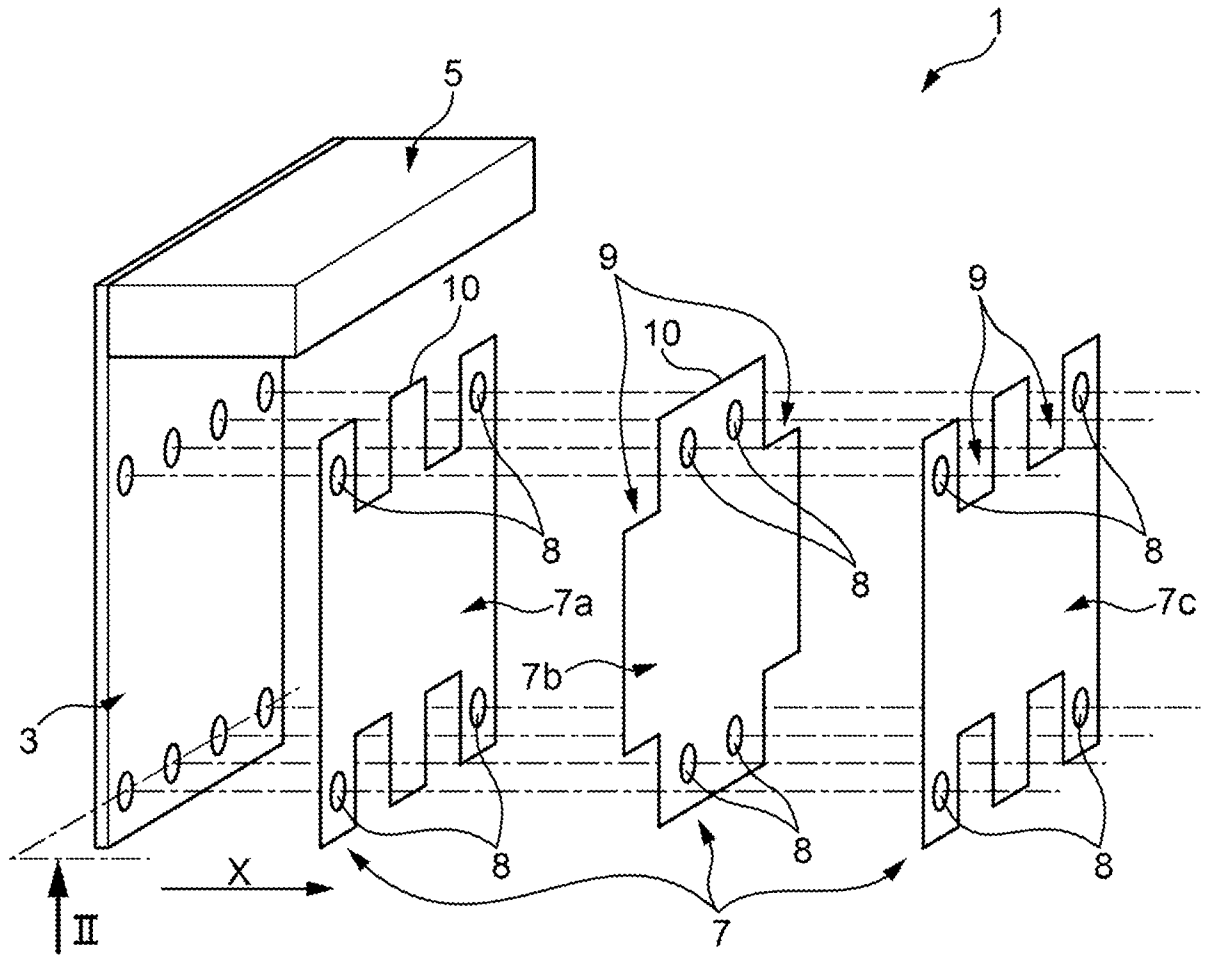


FIG. 1

5

10

[Fig. 2]

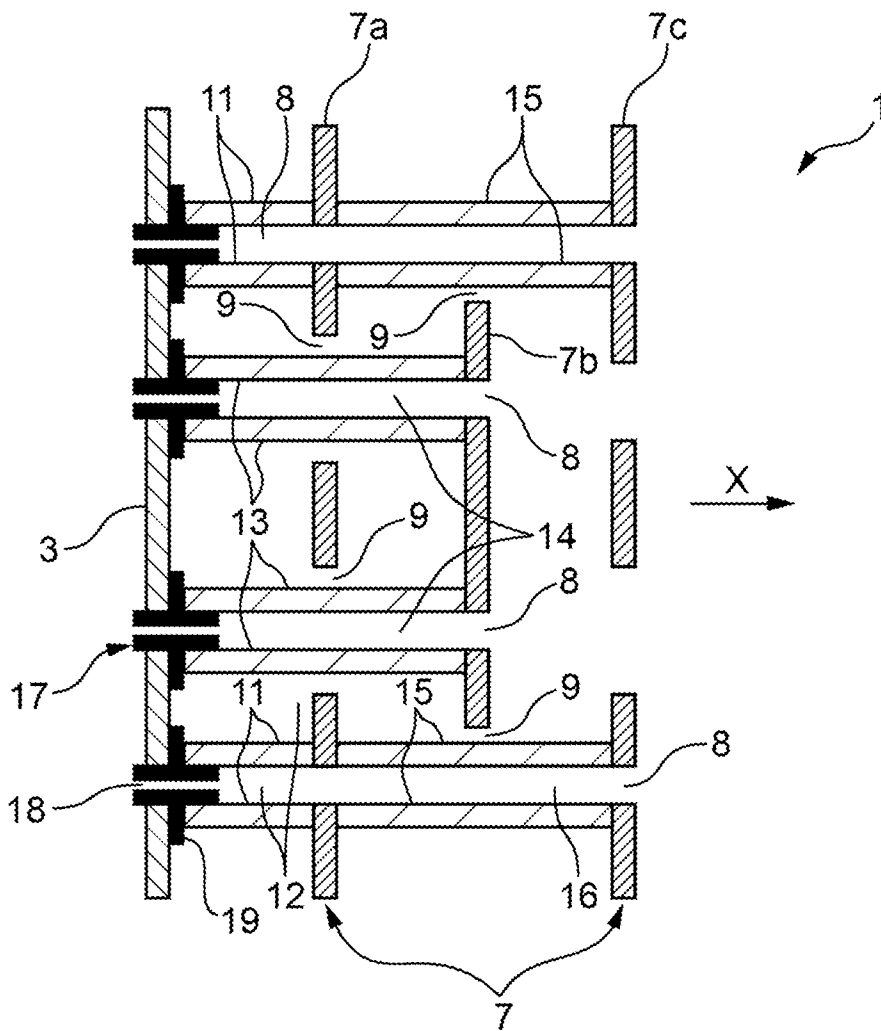


FIG. 2

5

10

[Fig. 3]

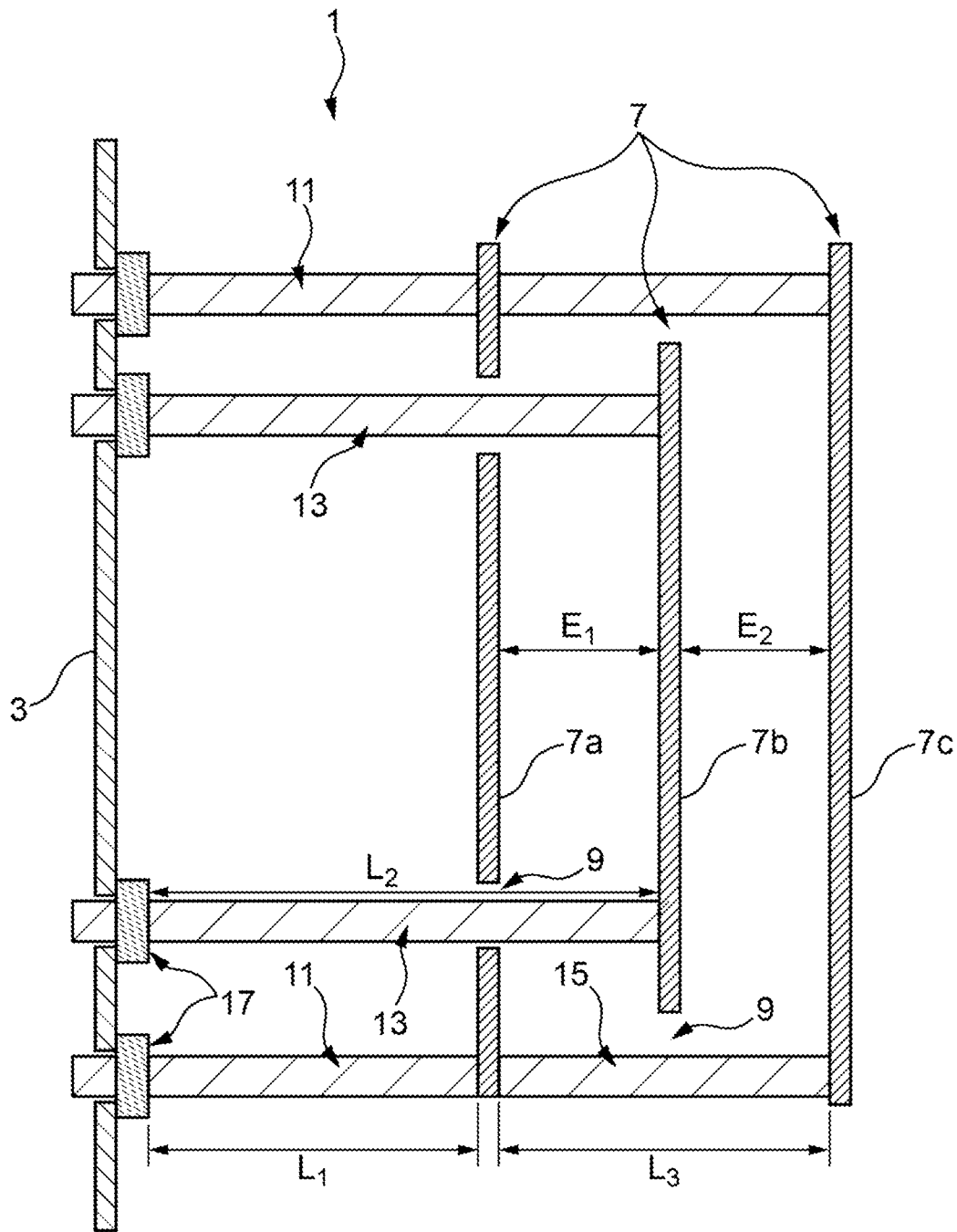


FIG. 3

[Fig. 4]

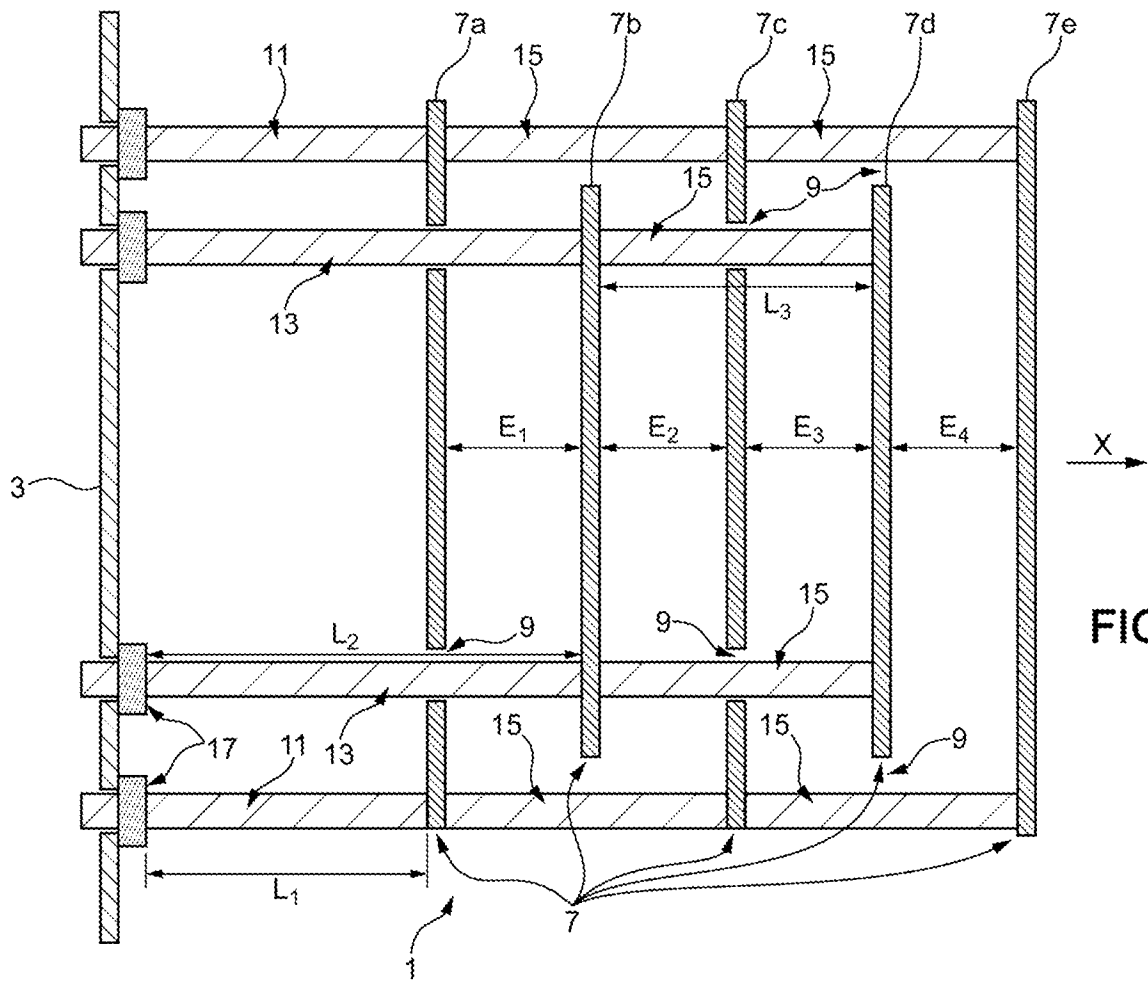


FIG. 4

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/FR2024/051091**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> <i>G01F 23/263</i> (2022.01)i; <i>G01N 27/22</i> (2006.01)i  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) G01F; G01N  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		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2016090299 A (SAGINOMIYA SEISAKUSHO INC) 23 May 2016 (2016-05-23) paragraphs [0031] - [0036] paragraph [0054]; figure 7 claim 1	1-9
Y	JP 6778783 B2 (SAGINOMIYA SEISAKUSHO INC) 04 November 2020 (2020-11-04) paragraph [0036]	1-9
A	EP 0378304 A2 (HOCHSTEIN PETER A) 18 July 1990 (1990-07-18) column 1, lines 1-44; claim 1	1-9
A	JP 2016090303 A (SAGINOMIYA SEISAKUSHO INC) 23 May 2016 (2016-05-23) paragraphs [0030] - [0048]	1-9
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search <b>04 November 2024</b>		Date of mailing of the international search report <b>12 November 2024</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands (Kingdom of the)</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Tomasoni, Flora</b>  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/FR2024/051091**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
JP	2016090299	A	23 May 2016	JP	6534253	B2	26 June 2019
				JP	2016090299	A	23 May 2016
JP	6778783	B2	04 November 2020	JP	6778783	B2	04 November 2020
				JP	2019158889	A	19 September 2019
EP	0378304	A2	18 July 1990	CA	2007649	A1	13 July 1990
				EP	0378304	A2	18 July 1990
				JP	H0674994	B2	21 September 1994
				JP	H02264829	A	29 October 1990
				KR	900012087	A	03 August 1990
				MX	172359	B	14 December 1993
				US	4947689	A	14 August 1990
				US	RE34601	E	10 May 1994
JP	2016090303	A	23 May 2016	JP	6472639	B2	20 February 2019
				JP	2016090303	A	23 May 2016

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2024/051091

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**

INV. G01F23/263 G01N27/22

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)

G01F G01N

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

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	JP 2016 090299 A (SAGINOMIYA SEISAKUSHO INC) 23 mai 2016 (2016-05-23) alinéas [0031] - [0036] alinéa [0054]; figure 7 revendication 1 -----	1 - 9
Y	JP 6 778783 B2 (SAGINOMIYA SEISAKUSHO INC) 4 novembre 2020 (2020-11-04) alinéa [0036] -----	1 - 9
A	EP 0 378 304 A2 (HOCHSTEIN PETER A) 18 juillet 1990 (1990-07-18) colonne 1, lignes 1-44; revendication 1 -----	1 - 9
A	JP 2016 090303 A (SAGINOMIYA SEISAKUSHO INC) 23 mai 2016 (2016-05-23) alinéas [0030] - [0048] -----	1 - 9

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

**4 novembre 2024**

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

**12/11/2024**

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

**Tomasoni, Flora**

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2024/051091

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP 2016090299 A	23-05-2016	JP 6534253 B2	26-06-2019
		JP 2016090299 A	23-05-2016
-----			
JP 6778783 B2	04-11-2020	JP 6778783 B2	04-11-2020
		JP 2019158889 A	19-09-2019
-----			
EP 0378304 A2	18-07-1990	CA 2007649 A1	13-07-1990
		EP 0378304 A2	18-07-1990
		JP H0674994 B2	21-09-1994
		JP H02264829 A	29-10-1990
		KR 900012087 A	03-08-1990
		MX 172359 B	14-12-1993
		US 4947689 A	14-08-1990
		US RE34601 E	10-05-1994
-----			
JP 2016090303 A	23-05-2016	JP 6472639 B2	20-02-2019
		JP 2016090303 A	23-05-2016
-----			