

19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

11) N° de publication : **2 888 394**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

21) N° d'enregistrement national : **05 52111**

51) Int Cl<sup>8</sup> : H 01 G 5/16 (2006.01), G 01 P 15/125, G 01 C 19/56

12) **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

**A1**

22) Date de dépôt : 08.07.05.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 12.01.07 Bulletin 07/02.

56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71) Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE Etablissement public à caractère scientifique technique et industriel — FR.

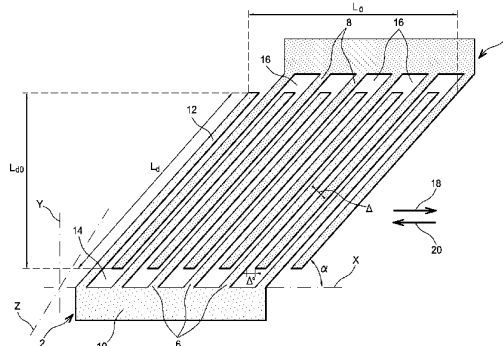
72) Inventeur(s) : DESPESE GHISLAIN, CHAILLOUT JEAN JACQUES et JAGER THOMAS.

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : BREVATOME.

54) **DISPOSITIF CAPACITIF A VOLUME CAPACITIF OPTIMISE.**

57) La présente invention a principalement pour objet un dispositif capacitif comportant au moins un premier (2) et un deuxième (4) peignes, munis respectivement des doigts interdigités, aptes à être mobiles l'un par rapport à l'autre selon au moins une première direction déterminée (X), au moins un doigt du premier peigne (2) comportant une face en regard d'une face d'un doigt du deuxième peigne (4) caractérisé en ce que ladite face du doigt du premier peigne et ladite face du doigt du deuxième peigne sont inclinées par rapport à un plan orthogonal à la première direction (X) de déplacement des peignes, le plan étant défini par des deuxième (Y) et troisième (Z) directions perpendiculaires à la direction (X), et perpendiculaires entre elles.



FR 2 888 394 - A1



**DISPOSITIF CAPACITIF A VOLUME CAPACITIF OPTIMISE****DESCRIPTION****DOMAINE TECHNIQUE ET ART ANTÉRIEUR**

5 La présente invention se rapporte principalement à un dispositif capacitif à volume capacitif optimisé, notamment utilisé pour réaliser des accéléromètres, gyromètres, et sismomètres.

Les dispositifs capacitifs comportent au  
10 moins deux peignes capacitifs interdigités formant condensateur, l'un étant généralement fixe et l'autre mobile. Chaque peigne comporte des doigts qui sont interposés avec jeu entre les doigts de l'autre peigne. Les doigts de chaque peigne sont généralement de forme  
15 rectangulaire et s'interposent entre deux doigts de l'autre peigne qui délimitent également un espace de forme rectangulaire. La distance séparant deux doigts directement adjacents, est appelée entrefer.

Ces dispositifs permettent la conversion  
20 d'une énergie mécanique, le déplacement relatif des peignes l'un par rapport à l'autre par exemple par vibration, en une énergie électrique. Ces dispositifs permettent également la conversion d'une énergie électrique en énergie mécanique, par effet  
25 électrostatique. Ainsi en appliquant une différence de potentiel entre les doigts de deux peignes différents, on provoque le déplacement d'un peigne par rapport à l'autre.

Il est particulièrement intéressant de  
30 réduire la taille de ce type de dispositif, car ceci

permet d'augmenter la capacité volumique de la structure de conversion.

Cependant, la réduction de la taille du dispositif entraîne une diminution du déplacement  
5 relatif entre les peignes, ce qui dans le cas de la récupération d'énergie mécanique de vibration, induit une réduction de l'énergie récupérable.

Actuellement, les structures électrostatiques utilisant la variation d'entrefer  
10 entre deux éléments ayant un mouvement relatif sensiblement selon une direction rectiligne, comportent généralement des doigts orthogonaux à la direction de déplacement. Or les possibilités d'augmenter la capacité volumique de ce type de structure en gardant  
15 une amplitude de déplacement importante sont limitées. On peut affiner les doigts de chaque peigne, mais cet amincissement doit tenir compte de la tenue à l'effort des doigts, engendré par la force électrostatique ou la force d'inertie propre des doigts.

20 C'est par conséquent un but de la présente invention d'offrir un dispositif capacitif ayant une capacité volumique augmentée pour un volume et une amplitude de déplacement donnés.

#### **EXPOSÉ DE L'INVENTION**

25 Le but précédemment énoncé est atteint grâce à un dispositif capacitif comportant au moins un premier et un deuxième peignes comportant des doigts dont les surface en regard sont inclinées par rapport à un plan orthogonal à la direction de déplacement du ou  
30 des peignes.

Ainsi, les surfaces en regard sont augmentées, ce qui, pour un même débattement, permet d'avoir à la fois une augmentation de la capacité volumique et une augmentation de la force électrostatique pour une tension donnée.

La présente invention permet avantageusement de réduire l'influence des capacités parasites parallèles extérieures provenant, par exemple, de l'électronique de gestion, grâce à une capacité du dispositif plus élevée.

La présente invention a alors principalement pour objet un dispositif capacitif comportant au moins un premier et un deuxième peignes, munis respectivement de doigts interdigités, lesdits peignes étant aptes à être mobiles l'un par rapport à l'autre selon au moins une première direction déterminée, au moins un doigt du premier peigne comportant une face en regard d'une face d'un doigt du deuxième peigne caractérisé en ce que ladite face du doigt du premier peigne et ladite face du doigt du deuxième peigne sont inclinées par rapport à un plan orthogonal à la première direction de déplacement des peignes, le plan étant défini par des deuxième et troisième directions perpendiculaires à la direction, et perpendiculaires entre elles.

Dans un premier mode de réalisation, les faces des doigts s'étendent selon des plans parallèles à un plan contenant la troisième direction.

Dans un deuxième mode de réalisation, les faces des doigts sont inclinées par rapport aux deuxième et troisième directions. En d'autres termes,

les faces des doigts s'étendent selon des plans ne contenant ni la deuxième, ni la troisième direction.

Les faces des doigts peuvent également s'étendre selon des plans parallèles à un plan  
5 contenant la deuxième direction. En d'autres termes, les faces des doigts s'étendent selon des plans ne contenant pas la troisième direction.

Dans un exemple de réalisation, les faces des doigts en regard sont parallèles entre elles.

10 Les doigts peuvent avoir sensiblement une section rectangulaire ou une section sensiblement trapézoïdale selon un plan parallèle à un plan défini par les première et deuxième directions.

En outre, le premier et le deuxième peignes  
15 peuvent comporter un corps principal auquel sont raccordés, par une extrémité, les doigts du premier et du deuxième peignes respectivement, les corps s'étendant alors, par exemple, au moins en partie sensiblement selon un axe parallèle à la première  
20 direction de déplacement.

Dans un deuxième exemple de réalisation, le premier peigne comporte un cadre sensiblement rectangulaire comportant des doigts s'étendant en épi vers l'intérieur du cadre et dans lequel le deuxième  
25 peigne comporte un bras principal s'étendant selon la première direction, les doigts du deuxième peigne s'étendant en épi du bras principal.

Le deuxième peigne peut comporter également un bras secondaire perpendiculaire au bras principal et  
30 s'étendant sensiblement selon la deuxième direction,

les doigts du deuxième peigne s'étendant également en épi à partir du bras secondaire.

De manière avantageuse, le dispositif comporte un plan de symétrie contenant la première direction et un plan de symétrie contenant une deuxième direction perpendiculaire à la direction.

De plus, au repos, le deuxième peigne peut être décentré par rapport au premier peigne.

Avantageusement, les peignes ont un déplacement relatif dans la deuxième direction.

En outre, le dispositif selon la présente invention peut comporter des moyens de guidage autorisant le déplacement du deuxième peigne par rapport au premier peigne selon la première direction de déplacement.

Les moyens de guidage peuvent, par exemple, raccorder des extrémités du bras principal du deuxième peigne au cadre du premier peigne.

Dans un exemple de réalisation, le cadre comporte au niveau d'une partie médiane de ses grands côtés, un doigt ayant la forme d'un triangle et le bras secondaire du deuxième peigne comporte à chacune de ses extrémités deux doigts inclinés l'un rapport à l'autre de manière à définir un espace de réception du doigt de forme triangulaire du cadre, en regard.

Dans un exemple de réalisation, les doigts s'étendent selon deux plans de manière à former des chevrons.

Dans une variante de réalisation, le deuxième peigne comporte des doigts s'étendant de part et d'autre du corps principal, les doigts du deuxième

peigne étant interdigités avec les doigts des premiers  
peignes disposés de part et d'autre du corps et des  
miroirs électrostatiques sont, avantageusement,  
interposés entre des doigts du premier peigne et des  
5 doigts du deuxième peigne de manière à permettre un  
déplacement du deuxième peigne par rapport au premier  
peigne selon un sens et son sens opposé.

De manière avantageuse, le premier peigne  
est fixe et le deuxième peigne est mobile par rapport  
10 au premier peigne.

En outre, le premier peigne est, de  
préférence, isolé électriquement du deuxième peigne,  
par exemple en utilisant d'un substrat isolant duquel  
sont solidaires le premier et le deuxième peignes.

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

La présente invention sera mieux comprise à  
l'aide de la description qui va suivre et des dessins  
en annexes, sur lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique de  
20 dessus d'un premier exemple d'un dispositif capacitif  
selon un premier mode de réalisation de l'invention ;

- la figure 2 est une vue schématique de  
dessus d'un dispositif capacitif selon un deuxième  
exemple du premier mode de réalisation de l'invention ;

25 - la figure 3 est une variante de  
réalisation du dispositif de la figure 2 ;

- la figure 4 est une vue schématique de  
dessus d'un dispositif capacitif selon une deuxième  
variante du deuxième exemple du premier mode de  
30 réalisation de l'invention ;

- la figure 5 est une vue en perspective d'un détail d'un deuxième mode de réalisation d'un dispositif selon la présente invention ;

5 - la figure 6 est une variante de réalisation du dispositif de la figure 5 ;

- la figure 7 est une vue en perspective d'un dispositif incorporant le détail de la figure 5.

### **EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS**

10 Sur l'ensemble des figures, les faces des doigts en regard ont été dessinées planes pour en faciliter la compréhension. Mais des surfaces, par exemple concaves/convexes peuvent être envisagées, des formes disparates également.

15 Sur la figure 1, on peut voir un dispositif capacitif selon un premier mode de réalisation, comportant un premier 2 et un deuxième 4 peignes comportant respectivement des doigts 6 et 8.

20 Nous décrirons en détail le peigne 2, sachant que, dans l'exemple représenté, les deux peignes 2,4 ont sensiblement la même structure.

Le peigne 2 comporte un corps 10 s'étendant sensiblement selon une direction X, auquel les doigts 6 sont fixés par une extrémité.

25 Le dispositif selon la présente invention s'étend également selon un axe Y orthogonal à l'axe X et contenu dans le plan de la feuille et selon un axe Z orthogonal aux axes X et Y.

30 Les doigts 6 s'étendent selon des plans contenant l'axe Z et inclinés par rapport à un plan défini par les axes Y et Z. Les doigts sont donc



inclinés par rapport à un plan orthogonal à la direction X de déplacement.

Dans l'exemple représenté, les doigts 6 ont une section selon un plan défini par les axes X et Y, en forme d'un parallélogramme non rectangle, comportant des grands côtés 12, avantageusement parallèles entre eux, et définissent des espaces 14 également en forme de parallélogramme non rectangle.

Les dimensions du deuxième peigne sont, dans l'exemple représenté, sensiblement les mêmes que celles du premier peigne 2. Les doigts 8 sont raccordés à un corps 11 sensiblement parallèle au corps 10 et définissent également des espaces 16 en forme de parallélogramme non rectangle.

Les doigts 8 sont disposés dans les espaces 14, et réciproquement les doigts 6 sont disposés dans les espaces 16.

Les premier et deuxième peignes 2, 4 ont un mouvement relatif selon la direction X dans un sens 18 ou 20, les flancs des doigts du premier peigne se rapprochant ou s'éloignant des flancs des doigts du deuxième peigne en regard. Un seul peigne ou les deux peignes peuvent être mobiles.

Les flancs des doigts sont contenus, dans le mode de réalisation représenté, dans un plan incliné par rapport à un plan normal à la direction X. Les flancs forment alors un angle  $\alpha$  avec la direction X.

De manière avantageuse, les flancs sont contenus dans des plans parallèles entre eux, mais cette disposition n'est pas limitative.

On peut prévoir des peignes dont les faces en regard ne soient pas parallèles, cependant la distance entre les faces n'étant pas uniforme tout le long de celles-ci, le débattement est limité par la plus petite distance d'entrefer.

Les différentes dimensions du dispositif selon la présente invention peuvent être définies en fonction de l'angle d'inclinaison  $\alpha$  des doigts avec les relations suivantes.

10

$$\left| \begin{array}{l} \Delta = \Delta_0 \sin(\alpha) \\ l_d = \frac{l_{d0}}{\sin(\alpha)} \\ S = hl_d = \frac{hl_{d0}}{\sin(\alpha)} = \frac{S_0}{\sin(\alpha)} \\ C_{repos} = \frac{2\varepsilon_0 S}{\Delta} = \frac{2\varepsilon_0 S_0}{\Delta_0 \sin^2(\alpha)} = \frac{C_0}{\sin^2(\alpha)} \\ Q = Q_0 \Rightarrow F_e = \frac{Q_0^2}{2\varepsilon_0 \Delta_0 S_0} z \sin(\alpha) = F_{e0} \sin(\alpha) \\ V_{max} = V_{max0} \Rightarrow F_e = \frac{V_{max0}^2 C_{repos}^2}{2\varepsilon_0 \Delta_0 S_0} z \sin(\alpha) = \frac{F_{e0}}{\sin^3(\alpha)} \\ F_e = F_{e0} \Rightarrow V_{max} = V_{max0} \sin^{\frac{3}{2}}(\alpha) \end{array} \right.$$

- h étant l'épaisseur de la structure ;
- $l_d$  étant la longueur des doigts ;
- 15 - S étant la surface capacitive latérale d'un doigt ;
- $\Delta$  étant l'épaisseur d'entrefer séparant deux doigts interdigités au repos ;
- Q étant la charge stockée sur un doigt ;
- 20 -  $F_e$  étant la force électrostatique exercée par un doigt selon X ;

- $C_{\text{repos}}$  étant la valeur de la capacité vue par un doigt en position de repos (doigts équidistants des deux doigts voisins) ;
- $\alpha$  étant l'angle formé par la surface capacitive des doigts avec la direction du déplacement  $X$ , les paramètres indexés « 0 » correspondent au cas standard des peignes non inclinés ( $\alpha_0 = 90^\circ$ ).

Ainsi, dans le cas où l'angle  $\alpha$  est égal à  $45^\circ$ ,

$$\alpha = 45^\circ \Rightarrow \begin{cases} \Delta = \frac{\Delta_0}{\sqrt{2}} \\ l_d = \sqrt{2} l_{d0} \\ S = \sqrt{2} S_0 \\ C_{\text{repos}} = 2C_0 \\ Q = Q_0 \Rightarrow F_e = \frac{F_{e0}}{\sqrt{2}} \\ V_{\text{max}} = V_{\text{max}0} \Rightarrow F_e = 2\sqrt{2} F_{e0} \\ E_{\text{max}} = E_{\text{max}0} \Rightarrow F_e = F_{e0} \\ F_e = F_{e0} \Rightarrow V_{\text{max}} = \frac{V_{\text{max}0}}{\sqrt{2}\sqrt{2}} \end{cases}$$

Pour un dispositif capacitif de type classique, pour lequel  $\alpha$  est égal à  $90^\circ$ , on obtient :

$$\alpha_0 = 90^\circ \Rightarrow \begin{cases} l_d = l_{d0} \\ S = S_0 \\ \Delta = \Delta_0 \\ Q = Q_0 \\ F_e = F_{e0} \\ C_{\text{repos}} = C_0 \end{cases}$$

Le choix de l'angle s'effectue sur la base d'un compromis entre le gain sur la capacité et les contraintes mécaniques et l'encombrement.  $\alpha$  est par exemple compris entre  $30^\circ$  et  $60^\circ$ .

Pour un dispositif selon la présente invention, il apparaît alors que l'entrefer  $\Delta$  est plus faible que dans un dispositif à dents perpendiculaires à la direction de déplacement. La tension sous laquelle on retire la charge pour obtenir une force électrostatique équivalente à celle obtenue avec un dispositif classique, est réduite d'un facteur  $\sin^{3/2}(\alpha)$ .

Par ailleurs, la capacité au repos est augmentée d'un facteur  $1/\sin^2(\alpha)$ , ce qui permet de réduire l'effet des capacités parasites.

Par conséquent, un dispositif selon la présente invention présente un même encombrement spatial qu'un dispositif selon l'état de la technique et offre une capacité au repos augmentée et une force électrostatique augmentée pour une tension maximale donnée.

Dans l'exemple représenté, les doigts d'un même peigne sont équidistants, mais on peut prévoir des distances différentes entre chaque doigt d'un même peigne.

Sur la figure 1, seuls deux peignes sont représentés pour des raisons de clarté, mais le dispositif peut comporter plus de deux peignes.

Dans le cas d'un dispositif destiné à engendrer un déplacement entre les peignes 2,4, ceux-ci sont raccordés électriquement à une source de tension (non représenté) apte à appliquer une différence de tension entre les peignes, en particulier entre une face d'un doigt d'un peigne et une face en regard d'un doigt de l'autre peigne, générant une force

électrostatique entre les deux faces en regard. L'alimentation électrique est gérée par exemple par une unité électronique.

Dans le cas d'un dispositif de conversion d'un mouvement mécanique entre les deux peignes en une énergie électrique, les peignes sont raccordés à une unité électronique apte à convertir une variation de capacité en une énergie électrique. Dans le cas d'un dispositif de mesure d'accélération, les peignes sont  
5  
raccordés à un circuit électronique qui permet de mesurer la variation de capacité et par là, l'accélération.  
10

Les peignes 2 et 4 sont avantageusement électriquement isolés l'un de l'autre afin d'éviter tout court-circuit en cas de contact entre eux.  
15

Une isolation électrique entre les peignes mobiles par rapport aux peignes fixes peut être obtenue par assemblage sur un isolant.

Sur la figure 2, on peut voir un deuxième exemple de réalisation d'un dispositif selon le premier mode de réalisation de la présente invention, dans lequel l'inclinaison des flancs des doigts peut varier d'un doigt à l'autre.  
20

Le dispositif de la figure 2 comporte un premier peigne fixe 102 et un deuxième mobile 104 disposé à l'intérieur du premier peigne.  
25

Le premier peigne 102 comporte un cadre 105 de forme sensiblement rectangulaire formé de deux petits côtés 106.1, 106.2 et de deux grands côtés 108.1, 108.2.  
30

Le premier peigne comporte des doigts 110 distribués selon quatre zones A1, A2, A3, A4.

Les zones A1 à A4 sont délimitées par les petits 106.1, 106.2, les grands 108.1, 108.2 côtés, et  
5 les axes X et Y, et forment quatre rectangles de mêmes dimensions.

Dans chaque zone A1 à A4, les doigts 110 s'étendent selon une direction particulière.

Nous décrirons la zone A1, les zones A2 à  
10 A4 étant, dans l'exemple représenté, de structure équivalente.

Les doigts 110 s'étendent des petit et grand côtés vers l'intérieur du cadre 105, selon une disposition en épi.

15 Les doigts 110 comportent des flancs 124, dans l'exemple représenté parallèles entre eux et sont inclinés suivant un angle  $\alpha$  par rapport à l'axe X.

Les flancs 124 délimitent des espaces recevant des doigts 127 du deuxième peigne 104.

20 Les doigts 110 de la zone A3 ont la même orientation que celle des doigts 110 de la zone A1.

Dans l'exemple représenté, les doigts 110 des zones A2 et A4 sont inclinés d'un angle  $180^\circ - \alpha$  dans le sens trigonométrique. Ainsi les zones A1 et A4 sont  
25 symétriques par rapport à un plan passant par l'axe Y et orthogonal au plan de la feuille, ainsi que les zones A2 et A3.

Le deuxième peigne 104 a sensiblement la forme d'une croix, comportant une branche principale  
30 126 disposée selon axe X et une branche secondaire 128

d'axe Y, sensiblement perpendiculaire à la branche principale 126.

Le deuxième peigne 104 est mobile selon l'axe X dans un sens 130 et 132.

5 Les branches 126,128 du deuxième peigne 104 délimitent quatre zones B1 à B4 recouvrant les zones A1 à A4 respectivement et dans lesquelles les doigts 127 ont une disposition particulière adaptée à la disposition des doigts 110 dans les zones A1 à A4  
10 respectivement.

Nous décrirons la zone B1, les zones B2 à B4 étant de structure équivalente.

Les doigts 127 s'étendent en épi des demi-branches 126.1 et 128.1 vers l'extérieur de la croix.  
15 Les flancs 129 des doigts 127 sont inclinés selon un angle  $\alpha$  par rapport à l'axe X et délimitent des espaces 136 pour recevoir les doigts 110 de la zone A1.

Ainsi, dans l'exemple représenté, les flancs 129 des doigts 127 sont parallèles aux flancs  
20 124 des doigts 110.

Dans l'exemple représenté, tous les flancs 124 et 129 d'une même zone étant parallèles entre eux, on parle indifféremment de l'inclinaison des doigts ou des flancs.

25 D'autre part, dans le cas particulier représenté à la figure 2, les doigts des zones A1 et A4, et des zones A2 et A3 sont parallèles entre eux. Mais le cas d'orientations différentes pour les doigts de chaque zone A1 à A4 associées aux zones B1 à B4  
30 respectivement, ne sort pas du cadre de la présente invention.

Dans l'exemple représenté,  $\alpha$  est égal à  $45^\circ$ .

Le dispositif selon la figure 2 comporte également des moyens de guidage 138 du déplacement du deuxième peigne 104 par rapport au premier peigne 102.

Ces moyens 138 raccordent avantageusement des extrémités 140,142 de la branche principale 126 aux plus petits côtés 106.1, 106.2 en regard.

Ces moyens sont soit isolants électriquement, soit fixés à un support isolant afin d'isoler électriquement les peignes 102 et 104.

Les moyens 138 sont, par exemple formés part des balanciers, des ressorts...

Le deuxième peigne 104 peut par exemple être mis en mouvement par rapport au premier peigne 102 par un système d'entraînement mécanique, ou par des vibrations mécaniques appliquées à un élément externe, les vibrations peuvent alors être appliquées au peigne 104 par l'intermédiaire de liaisons mécaniques souples reliant le peigne 104 à l'élément externe. Ces moyens de type ressort peuvent être réalisés en silicium sous forme de poutres gravées, ou en métal ou en matériau élastique (ressort, caoutchouc). Ces moyens peuvent également avoir une fonction de guidage de déplacement des peignes l'un par rapport à l'autre.

Ce dispositif peut par exemple permettre de convertir une énergie générée par un mouvement mécanique en énergie électrique par procédé électrostatique.

Il est, par ailleurs, possible d'utiliser ce dispositif en tant qu'actionneur mécanique en



appliquant une différence de potentiel entre les deux peignes.

Il est à noter que, si en position repos, le deuxième peigne 104 est centré par rapport au premier peigne 102, la force électrostatique est nulle en position centrale du fait de la symétrie du dispositif, il n'est alors pas possible de déplacer le peigne 104 par rapport au peigne 102. Afin de permettre une mise en mouvement du peigne 104, on peut prévoir de modifier la position relative des peignes 102 et 104 au repos, par exemple en décalant le peigne 104 par rapport au peigne 102 en position repos, de manière à ce que le dispositif ne soit pas symétrique au repos.

Dans l'exemple représenté, les doigts 127 disposés aux extrémités 144,146 de la branche secondaire 126 de part et d'autre de la branche, sont perpendiculaires entre eux et forment un espace sensiblement triangulaire, recevant un doigt 110' disposée dans la partie médiane d'un grand côté 108.1,108.2, avantageusement de forme sensiblement triangulaire.

Les doigts du deuxième peigne 104 sont répartis de manière symétrique par rapport à la branche secondaire 128, ce qui permet de répartir de manière symétrique les masses et les forces électrostatiques appliquées au peigne 104.

Sur la figure 3, on peut voir une variante de réalisation du dispositif représenté en figure 2, dans laquelle le deuxième peigne 104 peut se déplacer selon plusieurs directions, avantageusement selon les axes X et Y.

Le deuxième peigne 104 est alors suspendu par rapport au premier peigne 102 par des moyens non représentés.

Ceci est particulièrement intéressant  
5 lorsque l'on souhaite récupérer l'énergie de vibration dans un milieu complexe comportant plusieurs sources de vibration de directions différentes et/ou une source de direction aléatoire.

Le comportement capacitif du dispositif  
10 lors d'un déplacement selon l'axe Y est sensiblement identique au comportement capacitif lors d'un déplacement selon l'axe X. Les comportements dans les deux directions X et Y sont d'autant plus proches que l'angle des doigts par rapport à l'axe X est proche, en  
15 valeur absolue, de  $45^\circ$ . Ce dispositif est donc avantageusement adapté à une utilisation dans un environnement quelconque.

Dans le cas, où l'on prévoit une amplitude du déplacement relatif plus importante selon une  
20 direction, il est alors possible d'optimiser le dispositif en choisissant un angle d'inclinaison des doigts adapté à la direction de plus forte amplitude de vibration, par exemple on choisira un angle d'autant plus faible par rapport à l'axe X, que l'amplitude de  
25 déplacement selon X est importante par rapport à l'amplitude selon Y.

Sur la figure 4, on peut voir une autre variante d'un dispositif selon le premier mode de réalisation, dans lequel l'inclinaison des doigts varie  
30 de manière progressive sur toute l'étendue du

dispositif, ce qui permet d'occuper pleinement le dispositif.

Comme pour les dispositifs des figures 2 et 3, le dispositif selon la figure 4 comporte un premier  
5 peigne 202 formant cadre et un deuxième peigne 204 disposé à l'intérieur du premier peigne 202.

Dans l'exemple représenté, le premier peigne 202 comporte un cadre rectangulaire 205.

Le premier peigne peut avoir tout autre  
10 forme adaptée à un environnement spécifique et à un volume disponible, par exemple il peut être circulaire, elliptique, en chevron ou avoir toute autre forme.

De plus, le premier peigne n'a pas nécessairement la forme d'un cadre 205 fermé.

15 Le deuxième peigne 204 est formé par une branche unique 207 d'axe X.

Le premier 202 et le deuxième 204 peignes comportent respectivement des doigts 206, 208 interdigités.

20 Le premier peigne 202 comporte une première zone C1 et une deuxième zone C2, dans l'exemple représenté, symétriques par rapport à l'axe X

Dans la zone C1, les doigts 206 s'étendent  
25 d'une paroi intérieure du cadre 205 en direction de l'intérieur du cadre. Les doigts 206 sont inclinés par rapport à l'axe X d'un angle  $\alpha$ . Dans le mode de réalisation représenté, l'angle d'inclinaison  $\alpha$  des doigts augmente entre  $0^\circ$  et  $180^\circ$  en considérant le sens trigonométrique.

30 Sur la figure 4, on peut voir que les doigts 206 sont disposés de manière symétrique par

rapport à un plan orthogonal à la feuille et contenant l'axe Y. Mais ceci n'est pas limitatif et on peut prévoir une distribution différente sans plan de symétrie.

5                    Le peigne 204 est également symétrique par rapport à un plan orthogonal à la feuille et passant par l'axe X.

                    Les doigts du peigne 204 s'étendent d'un côté 210 de la branche 207 dans la zone C1 du premier  
10                    peigne et sont distribués sur toute la longueur du côté 210 avec un angle d'inclinaison variant de manière croissante, entre 0° et au plus 180° en considérant le sens trigonométrique.

                    La distribution des doigts 208 est telle  
15                    que les doigts 208 s'interposent entre les doigts 206 du premier peigne 202.

                    De manière avantageuse, les flancs 212,214 des doigts 206,208 respectivement en regard sont parallèles, autorisant un déplacement relatif identique  
20                    selon la direction du déplacement.

                    Les doigts ont alors sensiblement, vus de dessus, un profil trapézoïdal de manière à assurer le parallélisme des flancs.

                    La distribution des doigts 206 et 208 dans  
25                    la zone C2 est symétrique, comme décrit précédemment.

                    Le dispositif comporte également des moyens de guidage 216 du déplacement du deuxième peigne 204 par rapport au premier peigne 202. Ces moyens 216 raccordent avantageusement des extrémités 218,220 de la  
30                    branche 207 aux plus petits côtés du cadre 205.

Dans l'exemple représenté le mouvement relatif des deux peignes 202,204 s'effectue selon l'axe X, mais on peut prévoir comme pour le dispositif de la figure 3, un mouvement relatif selon plusieurs directions, notamment selon les axes X et Y.

Comme décrit précédemment, la disposition symétrique des doigts n'est en aucun cas limitative, et toute distribution inclinée des doigts permettant une amplitude suffisante entre les peignes peut convenir.

En outre, la disposition des moyens de guidage peut être différente et raccorder, par exemple, le deuxième peigne au grand côté du premier peigne.

Dans ce mode de réalisation, les doigts bénéficiant au mieux des avantages de la présente invention sont ceux qui sont les plus inclinés par rapport au plan orthogonal au déplacement, c'est-à-dire au plan orthogonal à l'axe X.

Il est alors possible en inclinant les doigts, d'optimiser le nombre de doigts pour un volume donné.

La figure 5 est une vue en perspective d'un deuxième mode particulier de réalisation d'un dispositif selon la présente invention.

Le dispositif selon la figure 5 comporte un premier peigne 302 et un deuxième 304 comportant respectivement des doigts 306,308 interdigités.

Les peignes sont aptes à avoir un mouvement relatif selon une première direction X et une deuxième direction Y, perpendiculaires entre elles et contenues dans le plan de la feuille. Les peignes s'étendent

également selon une direction Z perpendiculaire à X et Y.

Les doigts sont, dans l'exemple représenté, sensiblement plans et s'étendent selon un plan à la fois inclinés par rapport à un plan défini par les directions Y et Z et à la direction Z.

Des doigts contenus dans des plans parallèles au plan YZ et inclinés par rapport à la direction Z, ne sortent pas du cadre de la présente invention.

Dans l'exemple représenté, les doigts 306,308 comportent des flans 312,314 respectivement en regard, parallèles entre eux.

On peut prévoir également des flans 312,314 non parallèles.

Les peignes 302,304 peuvent avoir un mouvement relatif selon l'axe X et/ou Y.

Une telle disposition des doigts peut également s'appliquer aux dispositifs des figures 2 à 3.

Sur la figure 6, on peut voir une variante du dispositif de la figure 5, dans lequel les doigts 306,308 ne s'étendent plus dans un plan unique mais dans deux plans sécants, parallèles à des plans R1, R2, chaque plan R1, R2 étant incliné par rapport au plan défini par Y et Z, et par rapport à Z.

Dans l'exemple représenté, les plans R1 et R2 sont disposés de manière à former un chevron. Ainsi les doigts présentent un plan de symétrie parallèle à un plan défini par les axes X et Y.

Ce mode particulier de réalisation permet  
avantageusement d'augmenter la tenue des doigts aux  
efforts impliquées par les forces électrostatiques et  
l'inertie propre des doigts, tout en optimisant le  
5 volume capacitif.

Sur la figure 7, on peut voir un dispositif  
incorporant la forme particulière des peignes de la  
figure 5

Le dispositif comporte un peigne mobile 404  
10 et un premier et un deuxième peignes fixes 402.1,  
402.2.

Le peigne 404 comporte un corps central 410  
s'étendant selon un axe X et des doigts 408 disposés de  
part et d'autre du corps 410 selon la disposition de la  
15 figure 5, de manière à former un sapin.

Les peignes 402.1 et 402.2 sont  
sensiblement identiques, nous décrirons le peigne  
402.1.

Le peigne 402.1 comporte un corps 412  
20 s'étendant longitudinalement selon un axe parallèle à  
l'axe X et des doigts 406.1 disposés comme sur la  
figure 5 et venant s'interposer entre des doigts 408 en  
saillie d'un côté du corps 410.

Les doigts 406.2 du peigne 402.2 sont  
25 disposés de la même manière de l'autre côté du corps  
410.

De manière avantageuse, le dispositif  
comporte également des miroirs électrostatiques 414  
interposés entre chaque paire formée par un doigt 408  
30 et un doigt 406.1 d'un côté du corps 410 et un doigt

408 et un doigt 406.2 de l'autre côté du corps 410, dans un sens indiqué par la flèche 412.

Un miroir électrostatique 414 permet de limiter, voire d'annuler la force électrostatique qui s'applique entre les deux doigts qu'il sépare. Ainsi, si on met les miroirs 414 au potentiel du peigne 404, il n'y a plus de force appliquée du côté des doigts du peigne 404 se trouvant en face d'un miroir électrostatique 414. La dissymétrie du dispositif permet de générer un effort mécanique dans un sens 412 ou dans un sens 413 opposé au sens 412.

Les miroirs électrostatiques 414 sont également reliés à une source électrique qui peut être la même que celle des peignes 402,404 ou une source indépendante.

Nous allons maintenant expliquer le fonctionnement d'un tel dispositif :

- lorsqu'une différence de tension électrique est appliquée entre les peignes 402.1 et 404, une force électrostatique s'applique au peigne 404 dans les sens 413 ;

- lorsqu'une différence de tension électrique est appliquée entre les peignes 402.2 et 404, une force électrostatique s'applique au peigne 404 dans le sens 412.

Le dispositif selon la figure 7, permet avantageusement de créer une force mécanique dans un sens 412 ou dans un sens opposé 413 quelle que soit la position alors que pour les dispositifs représentés aux figures 1 à 5, la force électrostatique, pour une position donnée, ne s'applique que dans un sens.



Les miroirs électrostatiques peuvent également s'interposer entre une paire de doigts 408 et 406.1 ou 406.2 dans le sens 413.

5 Le peigne 402.1 et/ou le peigne 402.2 peuvent également être mobiles. On peut également prévoir un peigne 404 fixe et des peignes 402.1, 402.2 mobiles.

10 Il est également envisageable de prévoir des doigts s'étendant selon des plans non parallèles entre eux, les dispositions particulières des doigts des dispositifs des figures 2 et 3 étant également applicables.

15 Des dispositifs des figures 2 et 3 comportant des miroirs électrostatiques ne sortent pas du cadre de la présente invention.

Les faces des doigts en regard ne sont pas nécessairement planaires ; les formes correspondantes des faces en regard peuvent être par exemple ondulées ou en dent de scie,

20 On a bien réalisé un dispositif capacitif à volume capacitif optimisé, puisque l'inclinaison des doigts permet d'augmenter la force mécanique exercée sur le peigne mobile pour une tension appliquée et un volume donnés.

25 Le dispositif selon la présente invention peut être réalisé par exemple par usinage dans un matériau massif conducteur ou comportant un revêtement métallique, le matériau peut être du tungstène, du silicium dopé, un plastique ou une céramique métallisé.

30 Les moyens de rappel du dispositif en position repos, type ressort de rappel sous forme de

poutre souple, peuvent également être directement réalisés par usinage dans le matériau massif

La fabrication de ce dispositif peut également être réalisée par les technologies classiques de la microélectronique, par exemple par gravure 5 profonde (DRIE), collage sur isolant (verre).

Les procédés actuellement utilisés pour fabriquer des accéléromètres électrostatiques sont également applicables.

10 Il est également envisageable de réaliser ces dispositifs par moulage et/ou collage.

Les dispositifs selon la présente invention peuvent être utilisés dans des accéléromètres, gyromètres et sismomètres et dans tout dispositif 15 utilisant la variation de capacité par variation d'entrefer.

**REVENDICATIONS**

1. Dispositif capacitif comportant au moins un premier (2,102,202,302,402.1,402.2) et un  
5 deuxième (4,104,204,304,404) peignes, munis respectivement de doigts interdigités, lesdits peignes étant aptes à être mobiles l'un par rapport à l'autre selon au moins une première direction déterminée (X), au moins un doigt du premier peigne  
10 (2,102,202,302,402.1,402.2) comportant une face en regard d'une face d'un doigt du deuxième peigne (4,104,204,304,404) caractérisé en ce que ladite face du doigt du premier peigne et ladite face du doigt du deuxième peigne sont inclinées par rapport à un plan  
15 orthogonal à la première direction (X) de déplacement des peignes, le plan étant défini par des deuxième (Y) et troisième (Z) directions perpendiculaires à la première direction (X), et perpendiculaires entre elles.

20

2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel les faces des doigts (6,8,108,106,208,206) s'étendent selon des plans parallèles à un plan contenant la troisième direction (Z).

25

3. Dispositif, selon la revendication 1, dans lequel les faces des doigts s'étendent selon des plans parallèles à un plan contenant la deuxième direction (Y).

30

4. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel les faces des doigts sont inclinées par rapport aux deuxième et troisième directions (Y, Z).

5                   5. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel les faces des doigts en regard sont parallèles entre elles.

10                   6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel les doigts ont sensiblement une section rectangulaire selon un plan parallèle à un plan défini par les première (X) et deuxième (Y) directions.

15                   7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel les doigts (206,208) ont sensiblement une section trapézoïdale selon un plan parallèle à un plan défini par les première (X) et deuxième (Y) directions.

20                   8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel le premier (2) et le deuxième (4) peignes comportent un corps principal (10,11) auquel sont raccordés par une extrémité les  
25 doigts (6,8) du premier (2) et du deuxième (4) peignes respectivement.

30                   9. Dispositif selon la revendication précédente, dans lequel les corps (10,11) s'étendent au moins en partie sensiblement selon un axe parallèle à la première direction (X) de déplacement.

10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel le premier peigne (102,202) comporte un cadre (105,205) sensiblement rectangulaire comportant des doigts (106,206) s'étendant en épi vers l'intérieur du cadre et dans lequel le deuxième peigne (104,204) comporte un bras principal (126,207) s'étendant selon la première direction (X), les doigts (108,208) du deuxième peigne (104,204) s'étendant en épi du bras principal.

10

11. Dispositif selon la revendication précédente, dans lequel le deuxième peigne (104) comporte également un bras secondaire (128) perpendiculaire au bras principal (126) et s'étendant sensiblement selon la deuxième direction (Y), les doigts (108) du deuxième peigne (104) s'étendant également en épi à partir du bras secondaire (128).

12. Dispositif selon la revendication précédente, comportant un plan de symétrie contenant la première direction (X) et un plan de symétrie contenant une deuxième direction (Y) perpendiculaire à la direction (X).

13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel au repos le deuxième peigne est décentré par rapport au premier peigne.

14. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les peignes

(102,104) ont un déplacement relatif dans la deuxième direction (Y).

5 15. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, comportant des moyens de guidage (138,206)) autorisant le déplacement du deuxième peigne (104,204) par rapport au premier peigne (102,202) selon la première direction (X) de déplacement.

10 16. Dispositif selon la revendication précédente en combinaison avec la revendication 10, 11 ou 12, dans lequel les moyens de guidage (138,216) raccordent des extrémités du bras principal (126,207) du deuxième peigne (104,204) au cadre (105,205) du premier peigne (102,202).

15 17. Dispositif selon la revendication 10,11 ou 12, dans lequel le cadre (105) comporte au niveau d'une partie médiane de ses grands côtés, un doigt (110') ayant la forme d'un triangle, et dans lequel le bras secondaire (128) du deuxième peigne (104) comporte à chacune de ses extrémités deux doigts inclinés l'un rapport à l'autre de manière à définir un espace de réception du doigt de forme triangulaire (110') du cadre (105), en regard.

20 18. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les doigts (306,308) s'étendent selon deux plans (R1,R2) de manière à former des chevrons.

30

19. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le deuxième peigne (404) comporte des doigts (408) s'étendant de part et d'autre du corps principal (410), les doigts du deuxième peigne étant interdigités avec les doigts (406.1,406.2) des premiers peignes (402.1,402.2), disposés de part et d'autre du corps (410).

20. Dispositif selon la revendication précédente, comportant des miroirs (414) électrostatiques interposés entre les doigts (406.1, 406.2) du premier peigne (402.1,402.2) et des doigts (408) du deuxième peigne (404) de manière à permettre un déplacement du deuxième peigne par rapport au premier peigne selon un sens (412) et son sens opposé (413).

21. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le premier peigne est fixe et le deuxième peigne est mobile par rapport au premier peigne.

22. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le premier peigne est isolé électriquement du deuxième peigne.

23. Dispositif selon la revendication précédente, dans lequel le premier et le deuxième peignes sont solidaires d'un substrat isolant.

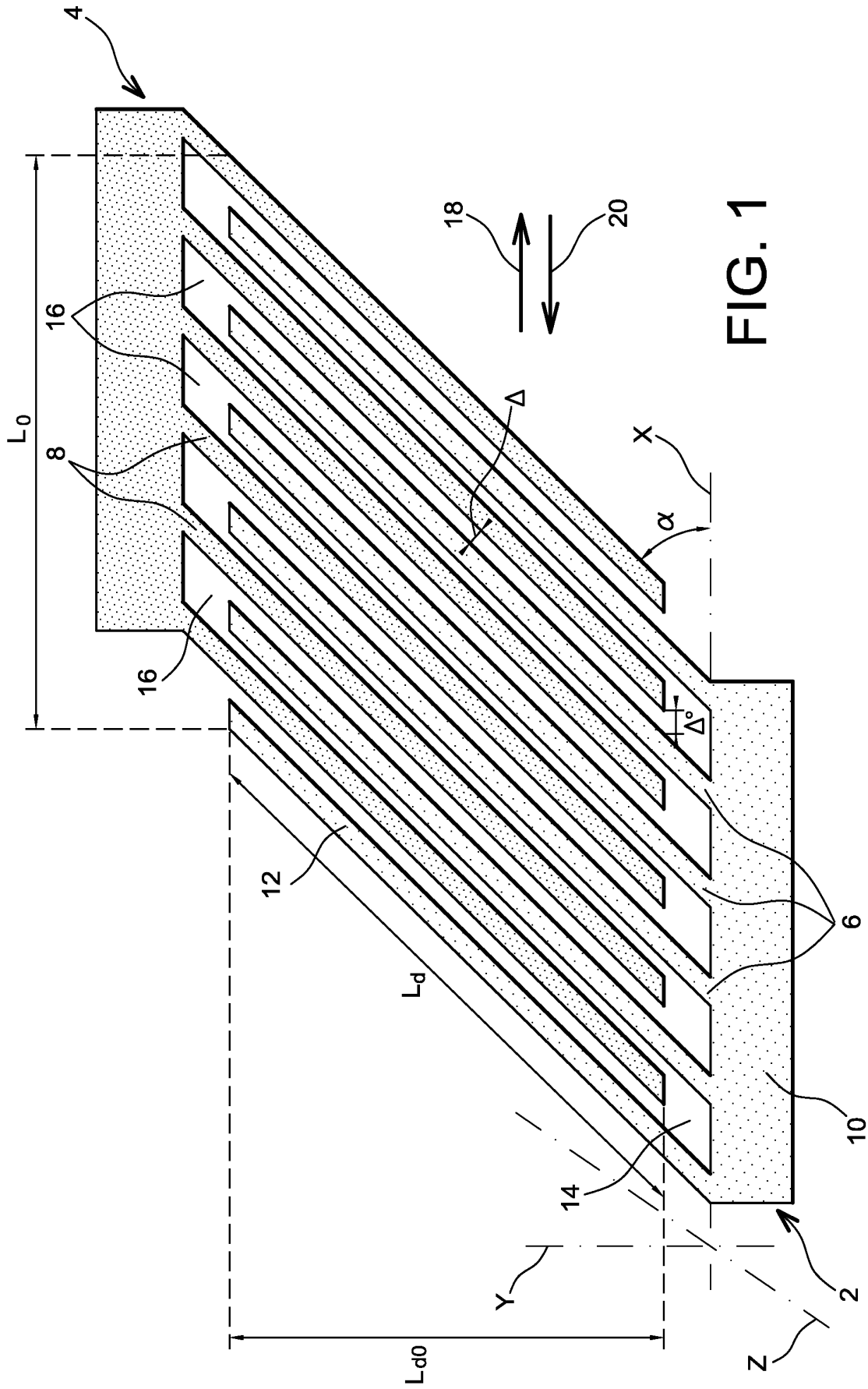


FIG. 1



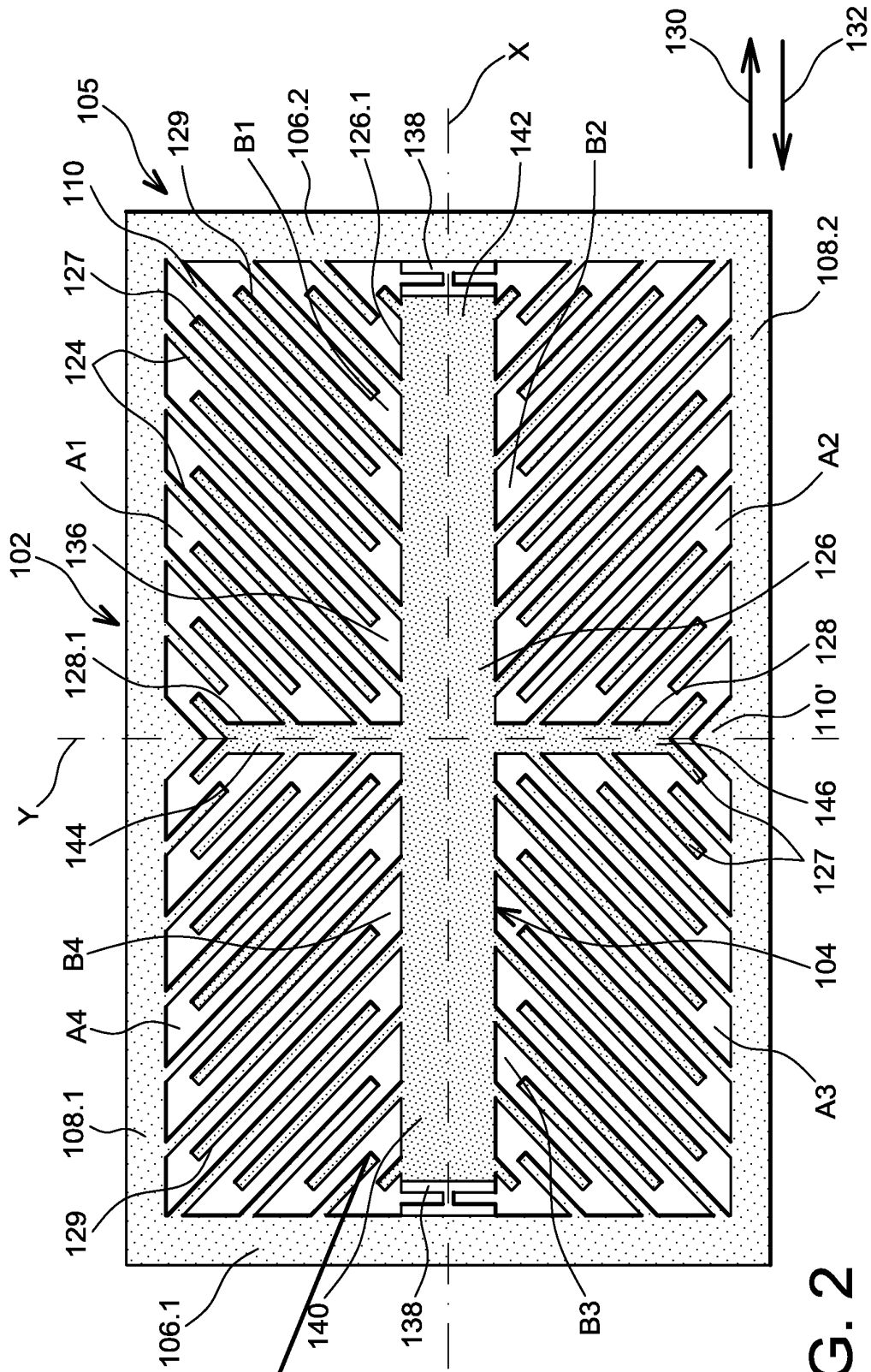


FIG. 2

3 / 6

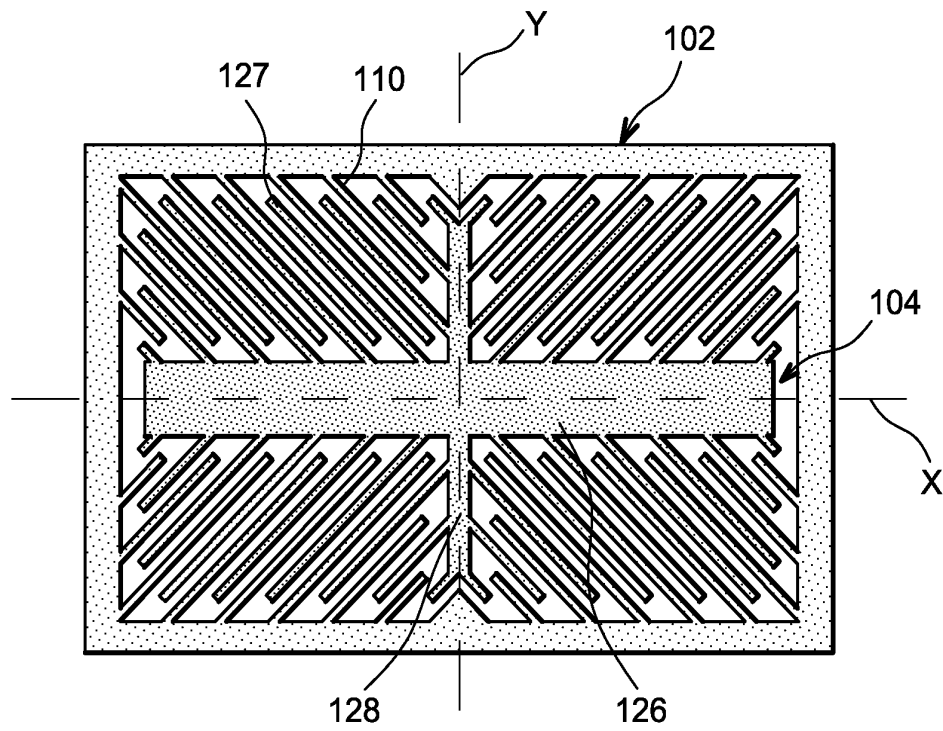


FIG. 3

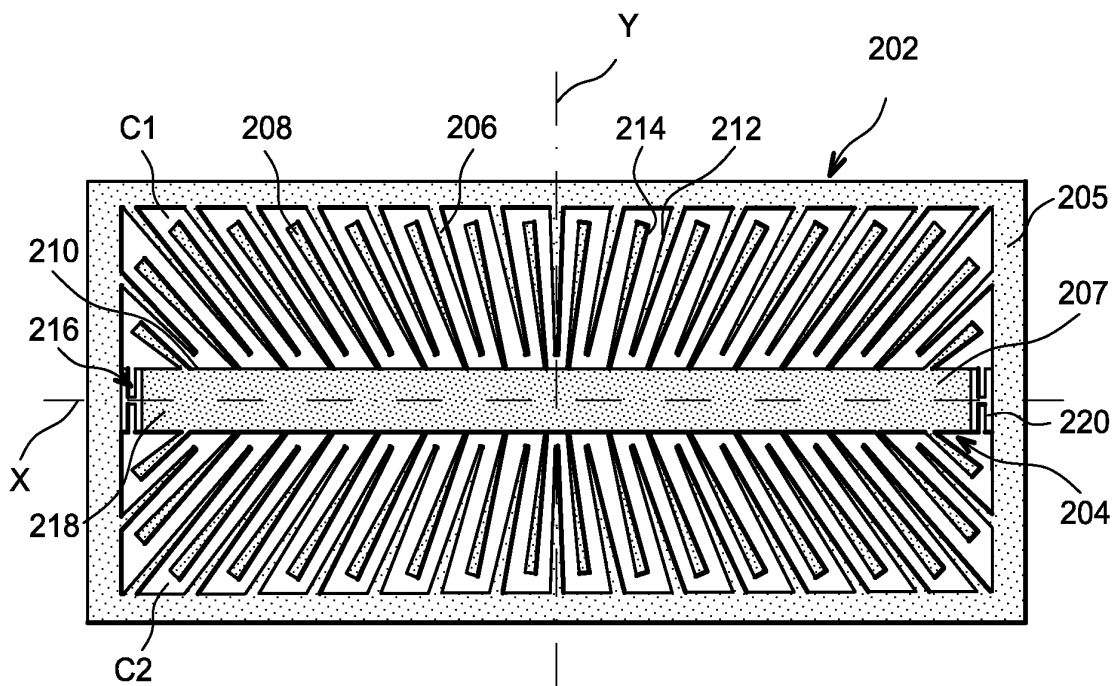


FIG. 4

4 / 6

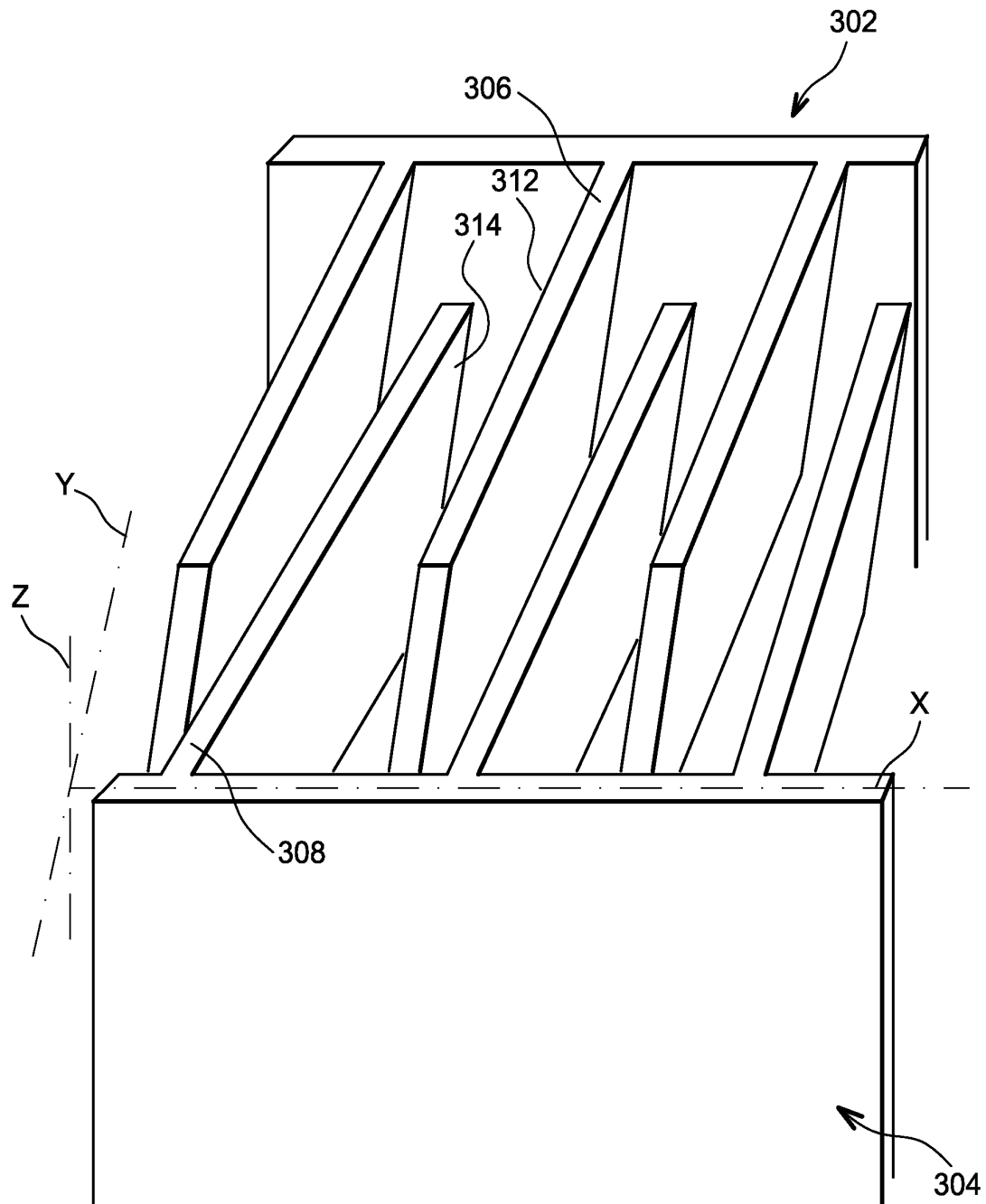


FIG. 5

5 / 6

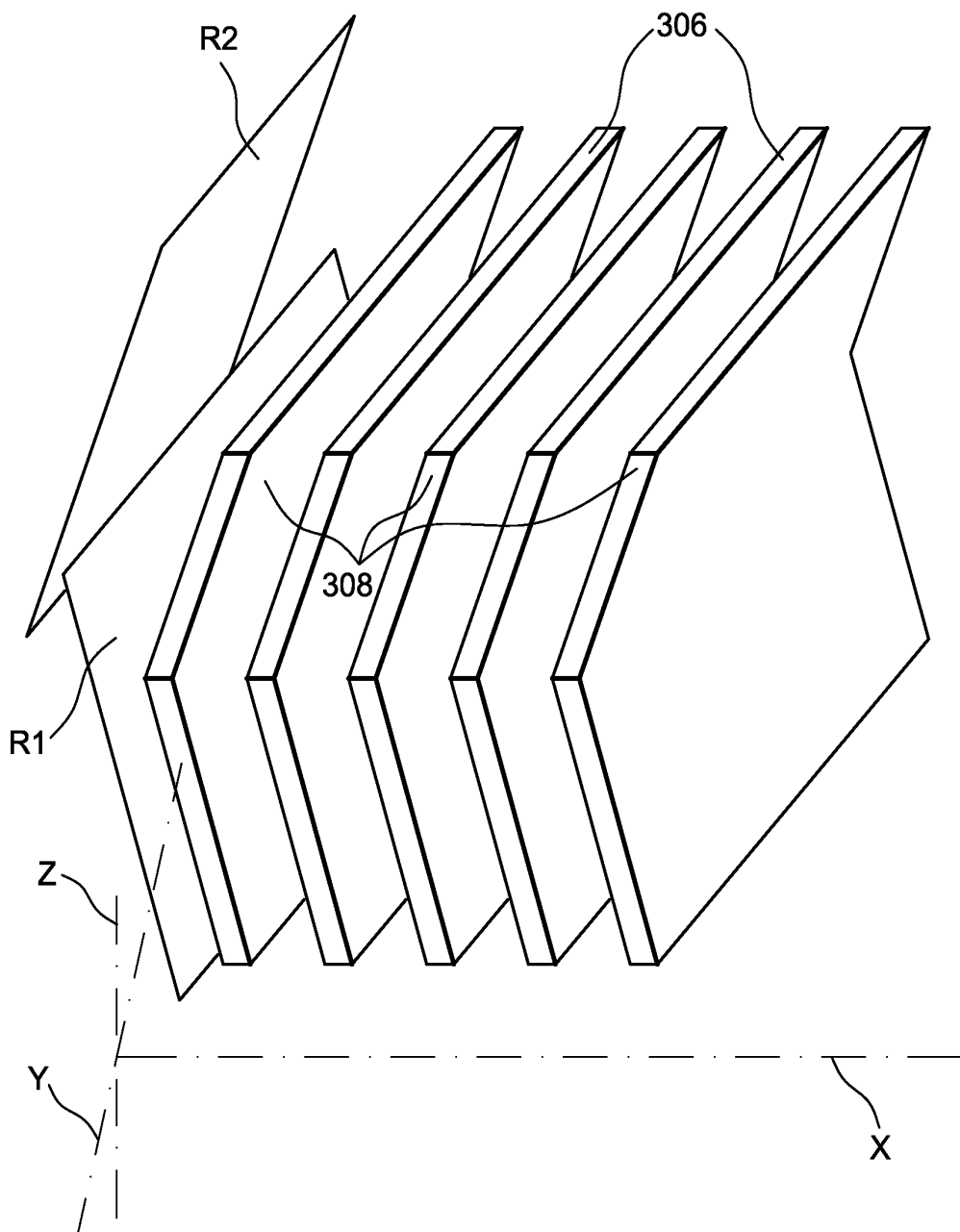


FIG. 6

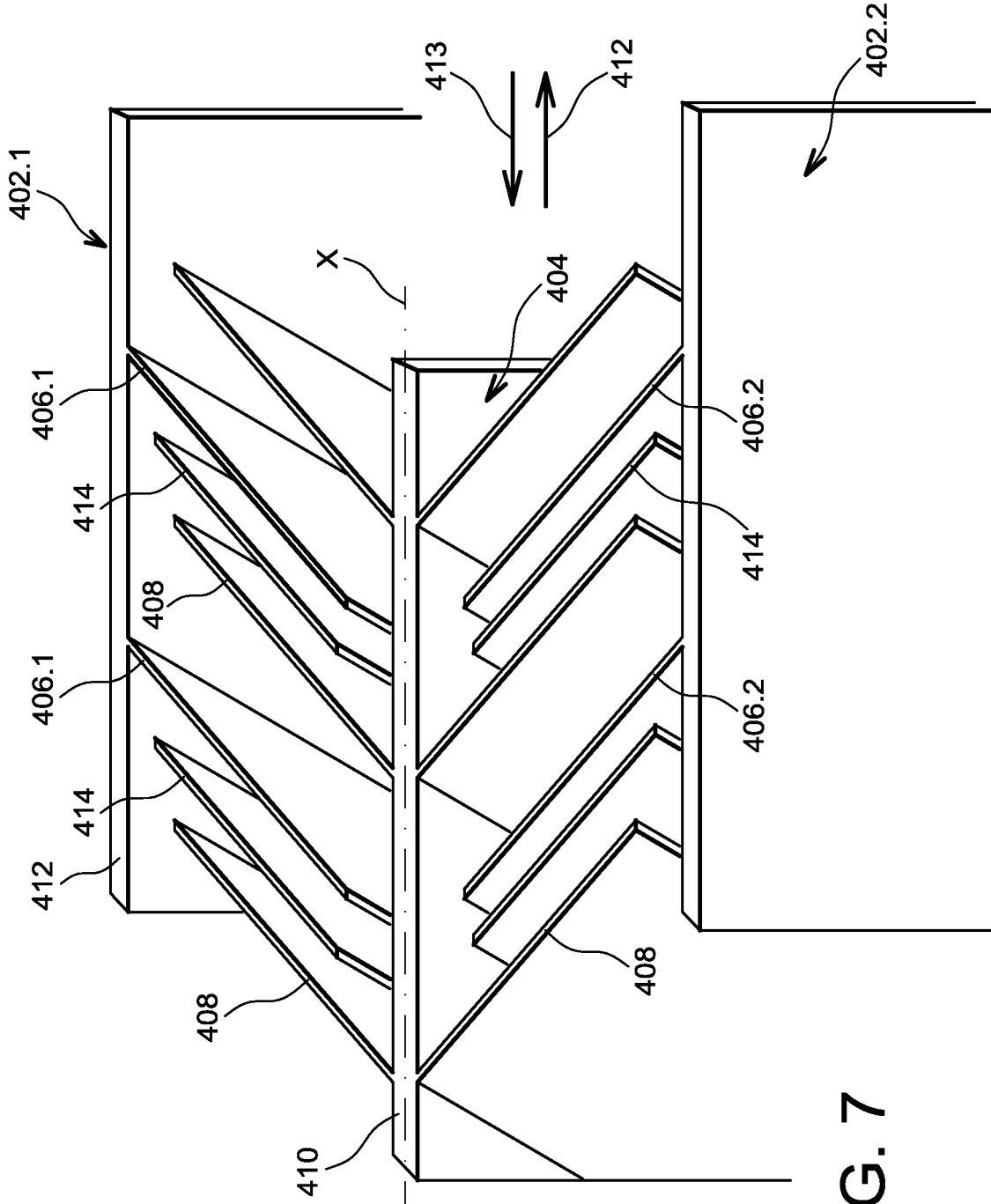


FIG. 7



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**  
établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FA 672455  
FR 0552111

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI	
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes			
X	WO 02/19509 A (HONEYWELL INTERNATIONAL INC) 7 mars 2002 (2002-03-07)	1-6,8, 14,15, 21-23	H01G5/16 G01P13/00	
Y	* page 6, ligne 21 - page 8, ligne 24; figures 1,2,7 *	7,9,13		
X	US 2005/013087 A1 (WU MING C ET AL) 20 janvier 2005 (2005-01-20)	1-6,8, 14,15, 21-23		
Y	* figures 1,2 *	7,9,13		
X	US 2003/106372 A1 (ADAMS SCOTT G ET AL) 12 juin 2003 (2003-06-12)	1-6,8, 14,15, 21-23		
Y	* figure 1a *	7,9,13		
X	US 5 025 346 A (TANG ET AL) 18 juin 1991 (1991-06-18)	1-6,8, 14,15, 21-23		
Y	* figure 1 *	7,9,13		
Y	US 6 133 670 A (RODGERS ET AL) 17 octobre 2000 (2000-10-17)	7		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	* revendication 1; figure 9 *	1-23		H01G G01P
Y	US 5 640 133 A (MACDONALD ET AL) 17 juin 1997 (1997-06-17)	9		
A	* figure 8 *	1-23		
A	US 5 563 343 A (SHAW ET AL) 8 octobre 1996 (1996-10-08)	1-23		
A	* figure 6 *			
A	US 2004/246654 A1 (WILLIAMS KIRT R ET AL) 9 décembre 2004 (2004-12-09)	1-23		
	* figure 1 *			
Date d'achèvement de la recherche		Examineur		
4 avril 2006		Lescop, E		
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention		
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure		
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date		
autre document de la même catégorie		de dépôt ou qu'à une date postérieure.		
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande		
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons		
P : document intercalaire		.....		
		& : membre de la même famille, document correspondant		

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0552111 FA 672455**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 04-04-2006

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 0219509 A	07-03-2002	AUCUN	
US 2005013087 A1	20-01-2005	AUCUN	
US 2003106372 A1	12-06-2003	CA 2467503 A1 CN 1602428 A EP 1446671 A2 WO 03036305 A2	01-05-2003 30-03-2005 18-08-2004 01-05-2003
US 5025346 A	18-06-1991	AUCUN	
US 6133670 A	17-10-2000	US 6507138 B1	14-01-2003
US 5640133 A	17-06-1997	CA 2224402 A1 EP 0834218 A1 JP 11508418 T WO 9701221 A1	09-01-1997 08-04-1998 21-07-1999 09-01-1997
US 5563343 A	08-10-1996	US 5610335 A	11-03-1997
US 2004246654 A1	09-12-2004	AUCUN	