

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

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

3 145 616

②① N° d'enregistrement national : **23 01139**

⑤① Int Cl⁸ : **G 01 P 15/09 (2023.01)**

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Accéléromètre comprenant une masse et un dispositif sensible à l'accélération associé à la masse.

②② Date de dépôt : 07.02.23.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 09.08.24 Bulletin 24/32.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 10.01.25 Bulletin 25/02.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *SERCEL Société par actions
simplifiée — FR.*

⑦② Inventeur(s) : FOUGERAT Aurélien.

⑦③ Titulaire(s) : SERCEL Société par actions simplifiée.

⑦④ Mandataire(s) : IPSILON.

FR 3 145 616 - B1



Description

Titre de l'invention : Accéléromètre comprenant une masse et un dispositif sensible à l'accélération associé à la masse

DOMAINE DE L'INVENTION

[0001] La présente invention concerne de manière générale les accéléromètres. L'invention concerne plus particulièrement les accéléromètres miniaturisés sensibles à la pesanteur ou plus généralement à toute force statique. Plus spécifiquement, l'invention est utile pour les accéléromètres de type système micro-électromécanique, encore appelé MEMS (Micro Electro Mechanical Systems en anglais).

ART ANTERIEUR

[0002] De manière générale un accéléromètre de type MEMS comprend une masse, appelée masse sismique ou masse inertielle, qui est associée à au moins un élément de détection d'accélération (capteur d'accélération).

[0003] La force de gravité qui s'exerce sur la masse sismique génère un décalage du signal d'accélération mesuré par le capteur d'accélération qui, si elle n'est pas compensée, nécessite de prévoir une grande plage de mesure pour le capteur d'accélération. En outre, lorsque l'accéléromètre utilise plusieurs capteurs d'accélération pour supprimer le bruit par mesure différentielle, l'effet de la force de gravité sur les signaux mesurée rend la suppression du bruit moins efficace.

[0004] Pour compenser l'effet de la force de gravité sur la masse et donc sur la mesure effectuée par le capteur d'accélération, il est connu, comme illustré à la [Fig.1], d'attacher la masse sismique 1 à des ressorts 3 reliés à un support 2. Les ressorts sont configurés pour appliquer une force de rappel à la masse pour compenser la force de gravité à laquelle la masse sismique est soumise.

[0005] Une telle solution est par exemple décrite dans le brevet FR2735580, dans lequel la compensation de gravité utilise des ressorts précontraints. La sollicitation (tension ou compression) des ressorts est obtenue en déposant une couche de matière sur le ressort. Une telle solution ne peut pas être modifiée dynamiquement pour s'adapter à l'orientation de l'accéléromètre qui peut être orienté verticalement dans le sens de la force de gravité ou en sens opposé, ou encore être orienté à l'horizontale.

[0006] Le brevet EP0886146 propose un accéléromètre comprenant un système mécanique de réglage de la compression du ressort qui relie la masse au support, en fonction de l'utilisation qui est faite de l'accéléromètre. Cependant, une fois le réglage du ressort défini, la compensation obtenue est permanente.

[0007] La compensation de la force de gravité que subit la masse peut également se faire comme décrit dans la demande WO2015/185222 en appliquant une force de com-

pression à une poutre qui relie la masse sismique au support, pour amener ladite poutre en flexion. Cependant, comme cette solution nécessite des poutres en flexion, la direction de la compensation de gravité est prédéterminée par la direction de flexion de la poutre, de sorte que seuls deux états sont autorisés pour chaque poutre : un état correspondant à une absence de flexion et un état de compression correspondant à une flexion de la poutre dans un sens prédéfini. Ainsi, il est nécessaire de prévoir deux ensembles différents de poutres avec des directions de flexion opposées si l'on souhaite pouvoir compenser la force de pesanteur appliquée à la masse dans un sens ou dans l'autre suivant l'orientation du capteur. En outre, dans la solution de la demande WO2015/185222, l'obtention de l'état de flexion de la poutre nécessite d'appliquer une force de compression importante puisque la direction de la force de compression est appliquée le long de l'axe rigide de la poutre.

[0008] A côté de ces solutions mécaniques de compensation, des développements ont conduit à l'utilisation d'une compensation dynamique via l'ajustement permanent d'une force de compensation externe de type électrostatique ou magnétique.

[0009] Le brevet US11401160 décrit ainsi des impulsions de tension qui appliquent des forces électrostatiques sur une masse sismique pour compenser l'effet de la force de gravité. Cependant, une telle méthode nécessite un système en boucle fermée et une tension correctement filtrée pour maintenir un faible niveau de bruit, ce qui augmente considérablement la consommation d'énergie.

[0010] La présente invention a pour but de proposer un nouvel accéléromètre permettant de pallier tout ou partie des problèmes exposés ci-dessus. Selon un aspect particulier, l'invention vise à améliorer les performances et en particulier la précision de l'accélération mesurée par l'accéléromètre.

Résumé de l'invention

[0011] A cet effet, l'invention a pour objet un accéléromètre comportant :

- un support ;
 - une masse, appelée masse sismique à laquelle est associé un capteur d'accélération qui présente au moins un axe de sensibilité d'accélération, la masse sismique étant susceptible d'être soumise à une force induite par une accélération à mesurer, et à une force statique, telle que la force de pesanteur ou une force d'inertie ; et
 - un dispositif de liaison élastiquement déformable, tel qu'un ressort, qui relie la masse sismique au support ;
- caractérisé en ce que l'accéléromètre comprend aussi :
- un système de butée fixe, et un dispositif de butée mobile qui est fixé au dispositif de liaison élastiquement déformable, ou qui forme partie du dispositif de liaison élastiquement déformable,

- un système de déplacement configuré pour déplacer le dispositif de butée mobile contre le système de butée fixe, de manière à déformer élastiquement le dispositif de liaison élastiquement déformable pour appliquer une force de rappel à la masse sismique.

[0012] Une telle architecture d'accéléromètre permet de compenser les effets d'une force statique que subit la masse sismique, notamment l'effet de la force de gravité, avec une consommation d'énergie limitée. En effet, l'invention permet d'appliquer à la masse sismique une force de rappel réglable selon des valeurs discrètes sur une masse sismique. Du fait que le réglage de la force de rappel s'effectue en commandant le déplacement d'un dispositif de butée mobile contre un système de butée fixe, il est possible d'appliquer au dispositif de butée mobile un effort de déplacement de valeur donnée vers une butée du système de butée fixe, qui est supérieur à une valeur minimale donnée nécessaire pour atteindre ladite butée du système de butée fixe, pour amener le dispositif de butée mobile en contact avec la butée fixe et la maintenir en contact avec ladite butée fixe, sans avoir à réguler l'effort de déplacement appliqué au dispositif de butée mobile pour le maintenir en position contre la butée fixe.

[0013] Cette solution peut être utilisée efficacement pour toute orientation entre l'axe sensible de l'accéléromètre et la direction de la force statique, telle que la gravité, du fait que le dispositif de butée mobile peut être tiré dans un sens ou dans le sens opposé ou laissé au repos. On peut aussi prévoir que le système de butée fixe et le système de déplacement permettent de déplacer plusieurs dispositifs de butée mobile dans différents sens.

[0014] Dans les solutions connues de l'état de technique qui prévoient d'annuler le décalage de signal mesuré résultant de la gravité, à l'aide d'une compensation électrostatique, il est souvent nécessaire d'effectuer une régulation en boucle fermée de la force électrostatique appliquée, ce qui augmente la consommation d'énergie. La solution selon l'invention permet d'utiliser une force électrostatique pour compenser l'effet de la force statique sur la masse sismique sans l'inconvénient d'une consommation d'énergie importante, grâce au système de butées mécaniques formé par la coopération entre le dispositif de butée mobile et le système de butée fixe.

[0015] Selon un mode de réalisation de l'invention, le système de déplacement comprend un système d'électrode qui permet de générer une force électrostatique pour déplacer le dispositif de butée mobile dans différentes configurations contre le système de butée fixe, et ainsi solliciter le dispositif de liaison élastiquement déformable selon différentes configurations pour obtenir différentes valeurs et sens de la force de rappel résultante sur la masse sismique. La force de rappel résultante peut ainsi être réglée selon la ou les forces statiques à compenser que subit la masse sismique.

[0016] L'invention permet de bénéficier des avantages d'une compensation de l'effet d'une

force statique que subit la masse sismique par application d'une force électrostatique sur le dispositif de liaison entre la masse sismique et le support, du fait que cette force électrostatique est réglable et réversible, avec un bruit de signal limité et sans l'inconvénient d'une consommation électrique importante que nécessiterait une régulation de cette force électrostatique.

[0017] L'accéléromètre peut aussi comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes prises dans toute combinaison techniquement admissible.

[0018] Selon un mode de réalisation, le dispositif de butée mobile étant électriquement conducteur, le système de déplacement comprend un système d'électrode comprenant au moins une, de préférence au moins deux électrodes, et une unité de commande configurée pour appliquer une tension électrique à ladite au moins une électrode pour exercer une force électrostatique sur le dispositif de butée mobile entraînant son déplacement en butée contre le système de butée fixe.

[0019] Selon un mode de réalisation, l'unité de commande est configurée pour commander le système d'électrode pour appliquer à ladite au moins une électrode une tension électrique donnée, générant une force électrostatique sur le dispositif de butée mobile qui est supérieure à la force minimale nécessaire pour maintenir le dispositif de butée mobile en contact avec le système de butée fixe.

[0020] Selon un mode de réalisation, le système d'électrode comprend une première et une deuxième électrodes réparties de part et d'autre du dispositif de liaison élastiquement déformable, et le système de butée fixe comprend deux butées réparties de part et d'autre du dispositif de liaison élastiquement déformable, de sorte que la mise sous tension d'une première électrode à une valeur donnée, entraîne le déplacement du dispositif de butée mobile en butée contre une première butée du système de butée fixe, et la mise sous tension de la deuxième électrode à une valeur donnée, entraîne le déplacement du dispositif de butée mobile du dispositif de liaison élastiquement déformable en butée contre la deuxième butée du système de butée fixe.

[0021] Selon un mode de réalisation, l'accéléromètre comprenant une unité de commande et l'ensemble du dispositif de liaison élastiquement déformable, du dispositif de butée mobile, du système de déplacement, et du système de butée fixe formant un ensemble, appelé ensemble de liaison, l'accéléromètre comprend plusieurs ensembles de liaison, le déplacement en butée du dispositif de butée mobile du dispositif de liaison contre le système de butée d'un ensemble de liaison étant commandable par l'unité de commande indépendamment du déplacement du dispositif de butée mobile d'un autre ensemble de liaison.

[0022] Selon un mode de réalisation, l'unité de commande est configurée pour commander les ensembles de liaison de manière à appliquer une valeur de force de rappel sur la masse sismique par le dispositif de liaison élastiquement déformable, qui est différente

de la force de rappel appliquée sur la masse sismique par un autre ensemble de liaison.

- [0023] Selon un mode de réalisation, dans lequel le dispositif de liaison élastiquement déformable d'au moins un ensemble de liaison présente au moins une caractéristique physique, telle que la longueur et/ou la raideur, qui est différente de la caractéristique physique correspondante du dispositif de liaison élastiquement déformable d'un autre ensemble de liaison de l'accéléromètre.
- [0024] Selon un mode de réalisation, l'accéléromètre est un système micro-électromécanique.
- [0025] Selon un mode de réalisation, le système de butée fixe est en tout ou partie commun avec le système d'électrode.
- [0026] Selon un mode de réalisation, le système de butée fixe est formé d'une seule pièce avec le support.
- [0027] Selon un mode de réalisation, le dispositif de liaison élastiquement déformable est formé d'une seule pièce avec le support.
- [0028] Selon un mode de réalisation, l'accéléromètre comprenant une unité de commande permettant de commander le système de déplacement, l'unité de commande est configurée pour, de préférence pour chaque ensemble de liaison lorsque l'accéléromètre comprend plusieurs ensembles de liaison, permettre de commander sélectivement la position du dispositif de butée mobile parmi un ensemble discret de positions.
- [0029] Selon un mode de réalisation, l'ensemble discret de positions du dispositif de butée mobile comprend les positions suivantes :
- une position dite de repos du dispositif de liaison élastiquement déformable correspondant à l'absence de commande de déplacement du dispositif de butée mobile par l'unité de commande ;
 - une première position de tension dans laquelle le dispositif de butée mobile est en butée contre le système de butée fixe, de sorte que le dispositif de liaison élastiquement déformable est en tension élastique et applique sur la masse sismique une première force de rappel;
 - et, de préférence, une deuxième position de tension dans laquelle le dispositif de butée mobile est en butée contre le système de butée fixe, de sorte que le dispositif de liaison élastiquement déformable est en tension élastique et applique sur la masse sismique une deuxième force de rappel, qui est différente de la première force de rappel.
- [0030] Il est aussi proposé un procédé de compensation au moins partielle d'une force statique, telle que la force de gravité, que subit la masse sismique d'un accéléromètre selon l'un quelconque des modes de réalisation précédents, dans lequel le procédé comprend le déplacement du dispositif de butée mobile contre le système de butée fixe

de sorte que le dispositif de liaison élastiquement déformable est en tension élastique et applique sur la masse sismique une force de rappel qui compense au moins partiellement ladite force statique que subit la masse sismique.

Brève description des dessins

- [0031] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront encore de la description qui suit, laquelle est purement illustrative et non limitative et doit être lue en regard des dessins annexés, sur lesquels :
- [0032] - [Fig.1] la [Fig.1] est une vue schématique d'un accéléromètre selon un mode de réalisation connu de l'état de la technique ;
- [0033] - [Fig.2] la [Fig.2] est une vue schématique d'un accéléromètre selon un mode de réalisation de l'invention, dans une configuration de compensation de la force de gravité que subit la masse sismique à l'aide d'un système d'électrode générant une force électrostatique qui déplace des butées mobiles contre des butées fixes ;
- [0034] - [Fig.2A] la [Fig.2A] est un schéma de principe illustrant différentes positions que peut prendre un dispositif de liaison élastiquement déformable et en particulier les trois positions que peut prendre le dispositif de butée mobile entre les éléments de butée d'un système de butée fixe, pour un accéléromètre selon un mode de réalisation de l'invention;
- [0035] - [Fig.3] la [Fig.3] est une vue schématique de l'accéléromètre de la [Fig.2], en l'absence de force électrostatique appliquée au dispositif de liaison élastiquement déformable;
- [0036] - [Fig.3A] la [Fig.3A] est une vue schématique de l'accéléromètre de la [Fig.2] dans un mode de fonctionnement où une force électrostatique est appliquée dans un sens à chaque dispositif de liaison élastiquement déformable supérieur, et une force électrostatique est appliquée en sens opposé à chaque dispositif de liaison élastiquement déformable inférieur ;
- [0037] - [Fig.3B] la [Fig.3B] est une vue schématique de l'accéléromètre de la [Fig.2] dans un mode de fonctionnement où une force électrostatique est appliquée dans le même sens à chacun des dispositifs de liaison élastiquement déformables, dans le sens d'une compensation de la force de gravité à laquelle la masse sismique est soumise ;
- [0038] - [Fig.4] la [Fig.4] est une vue schématique d'un accéléromètre selon un autre mode de réalisation de l'invention comprenant plusieurs, par exemple quatre, dispositifs de liaison élastiquement déformables qui relient la masse sismique au support, d'un côté de la masse sismique, et plusieurs, par exemple quatre, autres dispositifs de liaison élastiquement déformables qui relient la masse sismique au support, de l'autre côté de la masse sismique ;
- [0039] - [Fig.4A] la [Fig.4A] est une vue schématique de l'accéléromètre de la [Fig.4], dans

un mode de fonctionnement où, pour chacun desdits côté de la masse sismique, une force électrostatique est appliquée dans le même sens à une partie des dispositifs de liaison élastiquement déformables, dans le sens d'une compensation de la force de gravité à laquelle la masse sismique est soumise, et où une force électrostatique est appliquée à une autre partie des dispositifs de liaison élastiquement déformables, dans le même sens que celui de la force de gravité à laquelle la masse sismique est soumise (considéré en projection de la force de gravité sur l'axe de sensibilité du capteur) ;

[0040] - [Fig.5] la [Fig.5] est une vue schématique d'un accéléromètre selon un autre mode de réalisation de l'invention comprenant plusieurs, par exemple quatre, dispositifs de liaison élastiquement déformables qui relient la masse sismique au support d'un côté de la masse sismique, et, plusieurs, par exemple quatre autres dispositifs de liaison élastiquement déformables qui relient la masse sismique au support de l'autre côté de la masse sismique; une partie des dispositifs de liaison élastiquement déformables de chaque côté présentant une longueur différente des autres dispositifs de liaison élastiquement déformables situés du même côté de la masse sismique;

[0041] - [Fig.6] la [Fig.6] est une vue schématique d'un accéléromètre selon un autre mode de réalisation de l'invention pour lequel les dispositifs de liaison élastiquement déformables comprennent des mécanismes de levier permettant de déplacer le dispositif de butée mobile contre le système de butée fixe;

[0042] - [Fig.7] la [Fig.7] est une vue partielle d'un accéléromètre selon un mode de réalisation de l'invention, le système d'électrode et le système de butée fixe avec lequel le dispositif de butée mobile est apte à coopérer n'étant pas représenté,

[0043] - [Fig.7A] la [Fig.7A] est une vue de détail de la zone VII de la [Fig.7].

DESCRIPTION DETAILLEE

[0044] Le concept de l'invention est décrit plus complètement ci-après avec référence aux dessins joints, sur lesquels des modes de réalisation de l'invention sont montrés. Sur les dessins, la taille et les tailles relatives des éléments peuvent être exagérées à des fins de clarté. Des numéros similaires font référence à des éléments similaires sur tous les dessins. Cependant, ce concept de l'invention peut être mis en œuvre sous de nombreuses formes différentes et ne devrait pas être interprété comme étant limité aux modes de réalisation exposés ici. Au lieu de cela, ces modes de réalisation sont proposés de sorte que cette description soit complète, et communiquent l'étendue du concept de l'invention aux hommes du métier.

[0045] Une référence dans toute la spécification à « un mode de réalisation » signifie qu'une fonctionnalité, une structure, ou une caractéristique particulière décrite en relation avec un mode de réalisation est incluse dans au moins un mode de réalisation de la présente invention. Ainsi, l'apparition de l'expression « dans un mode de réalisation » à divers

emplacements dans toute la spécification ne fait pas nécessairement référence au même mode de réalisation. En outre, les fonctionnalités, les structures, ou les caractéristiques particulières peuvent être combinées de n'importe quelle manière appropriée dans un ou plusieurs modes de réalisation.

- [0046] En référence aux figures, on a représenté un accéléromètre comportant un support 2, et une masse sismique 1. La masse sismique 1 comprend une masse à laquelle est associé un capteur d'accélération (non représenté), i.e. un dispositif qui est sensible à une accélération selon une direction donnée. Le capteur d'accélération permet ainsi de mesurer, selon son axe de sensibilité, une accélération à laquelle il est soumis. L'axe de sensibilité du capteur est noté A_s . Selon différents modes de réalisation de l'invention, on peut prévoir que le dispositif sensible à l'accélération soit fixé ou non à la masse. On peut prévoir que le dispositif sensible à l'accélération soit dépourvu de liaison mécanique avec la masse. Par exemple dans le cas d'une mesure optique, capacitive, ou par effet tunnel, la mesure d'accélération peut être réalisée sans contact physique avec la masse mobile.
- [0047] La masse sismique 1 est susceptible d'être soumise à une force induite par une accélération à mesurer à l'aide du dispositif sensible à l'accélération.
- [0048] La masse sismique 1 est reliée au support 2 par un dispositif de liaison 3 élastiquement déformable, tel qu'un ressort. Selon un aspect particulier, le caractère élastiquement déformable se traduit par le fait que le dispositif de liaison 3 est susceptible de fléchir et/ou d'être allongé lorsqu'il est sollicité.
- [0049] Le dispositif de liaison 3 peut être réalisé dans différents matériaux, par exemple dans le même matériau que le support 2. Selon un aspect particulier, le dispositif de liaison 3 présente une forme allongée.
- [0050] Dans les modes de réalisation de l'invention présentés ci-après, la masse sismique 1 est reliée au support 2 par plusieurs dispositifs de liaison 3 élastiquement déformables. La description réalisée pour un dispositif de liaison 3 élastiquement déformable s'applique aussi aux autres dispositifs de liaison 3 élastiquement déformables lorsqu'ils sont présents, excepté en ce qui concerne de possibles différences de caractéristiques particulières entre des dispositifs de liaison 3 élastiquement déformables lorsque cela est indiqué.
- [0051] Le support 2 est une structure de référence, fixée à ou formant tout ou partie d'un boîtier ou châssis de l'accéléromètre.
- [0052] La masse sismique 1, et donc le capteur d'accélération, est aussi sensible à une force statique, notamment la force de gravité F_g . La force statique peut aussi être une force d'inertie constante, telle qu'une force centrifuge constante.
- [0053] Selon un mode de réalisation de l'invention préféré, l'accéléromètre est un système micro-électromécanique (ou MEMS pour Micro Electro Mechanical Systems en

anglais).

- [0054] Le dispositif sensible à l'accélération est configuré pour mesurer l'accélération et peut utiliser différentes technologies, par exemple du type capacitive/capacité, piézo-électricité, piézorésistivité, optique, par effet tunnel ou autre.
- [0055] Dans la suite de la description, la force statique considérée est la force de gravité F_g dont on cherche à compenser l'effet sur la masse sismique 1, mais l'invention et donc la description qui suit s'applique aussi au cas où la force statique est une force autre que la force de gravité, telle qu'une force d'inertie constante. Lorsque l'axe de sensibilité A_s du capteur d'accélération est parallèle à la verticale, le capteur d'accélération est soumis à la force de gravité. Lorsque le capteur d'accélération est orienté de sorte que l'axe de sensibilité A_s est incliné, le capteur d'accélération est soumis à une force correspondant à la projection sur l'axe A_s de la force de gravité.
- [0056] Le dispositif de liaison 3 élastiquement déformable est muni d'un dispositif de butée mobile 34, fixé au dispositif de liaison 3 élastiquement déformable, ou formant partie du dispositif de liaison 3 élastiquement déformable. Le dispositif de butée mobile 34 peut ainsi être situé entre une partie 32 du dispositif de liaison 3 élastiquement déformable reliée au support 2 et une partie 31 du dispositif de liaison 3 élastiquement déformable reliée à la masse 1.
- [0057] Le dispositif de butée mobile 34 est déplaçable par un système de déplacement 4 pour venir en butée contre un système de butée 5 fixe de manière à déformer le dispositif de liaison 3 élastiquement déformable pour s'opposer à la force F_g exercée sur la masse sismique 1 par la pesanteur.
- [0058] Le système de déplacement 4 permet de déplacer le dispositif de butée mobile 34 en contact avec le système de butée 5 fixe, et de maintenir ce contact pour maintenir ladite position tant que le déplacement est commandé par une unité de commande 100 comme expliqué ci-après.
- [0059] Le système de butée 5 est fixe par rapport au support 2 auquel est relié le dispositif de liaison 3 élastiquement déformable. Le système de butée 5 peut être réalisé dans le même matériau que le support 2 et peut être réalisé d'une seule pièce avec le support 2. Selon un mode de réalisation de l'invention, le support 2, le dispositif de liaison 3, et le système de butée 5 peuvent être obtenus par gravure d'un bloc de silicium.
- [0060] Préférentiellement, le dispositif de liaison 3 élastiquement déformable est déplaçable selon une direction transversale à la direction longitudinale du dispositif de liaison 3 élastiquement déformable considérée dans un état non déformé du dispositif de liaison 3 élastiquement déformable et en l'absence de force de gravité.
- [0061] L'accéléromètre comprend un système de déplacement 4 configuré pour permettre de déplacer le dispositif de liaison 3 élastiquement déformable pour venir en butée par l'intermédiaire d'un dispositif de butée mobile 34, contre le système de butée 5 fixe.

Le déplacement en butée du dispositif de liaison 3 élastiquement déformable contre le système de butée 5 fixe entraîne l'application par le dispositif de liaison 3 élastiquement déformable sur la masse sismique 1 d'une force de rappel F_R .

- [0062] Préférentiellement, le système de butée 5 fixe comprend plusieurs éléments de butée 5A, 5B présentant différentes positions par rapport au support 2.
- [0063] La direction, le sens et/ou la valeur de la force de rappel peuvent être définis en fonction de la localisation de l'élément de butée 5A, 5B du système de butée 5 fixe contre lequel le dispositif de butée mobile 34 est déplacé en butée.
- [0064] Ainsi, lorsque l'axe A_s du capteur est orienté verticalement, la force de rappel F_R exercée par le dispositif de liaison 3 élastiquement déformable sur la masse sismique 1 peut être en sens opposé de la force de gravité à laquelle la masse sismique 1 est soumise ou dans le même sens que ladite force de gravité.
- [0065] Lorsque le dispositif de butée mobile 34 est en butée contre le dispositif de butée fixe 5, le dispositif de liaison 3 élastiquement déformable est sous tension élastique. En particulier, dans les exemples illustrés aux figures, le ou chaque ressort qui forme un dispositif de liaison 3 élastiquement déformable est allongé.
- [0066] Système de déplacement
- [0067] Le système de déplacement 4 permet de déplacer le dispositif de liaison 3 élastiquement déformable pour compenser notamment au moins partiellement la force de gravité que subit la masse sismique.
- [0068] Selon différents modes de réalisation de l'invention, et comme illustré aux figures 2 à 7A, le déplacement du dispositif de liaison 3 élastiquement déformable se fait par application d'une force électrostatique F_e au dispositif de butée mobile 34 du dispositif de liaison 3 élastiquement déformable. Le dispositif de butée mobile 34 est électriquement conducteur. Le dispositif de butée mobile 34 peut être fixé au dispositif de liaison 3 élastiquement déformable ou former une partie dudit dispositif de liaison 3 élastiquement déformable.
- [0069] Selon une variante de réalisation on peut prévoir que le déplacement du dispositif de liaison 3 élastiquement déformable se fait par application d'une force magnétique ou via une contrainte piézoélectrique au dispositif de butée mobile 34 du dispositif de liaison 3 élastiquement déformable.
- [0070] En variante et/ou de manière combinée, le déplacement du dispositif de liaison 3 élastiquement déformable peut s'effectuer de manière mécanique, par exemple à l'aide d'un mécanisme à pivot associé à un contrepoids comme illustré à la [Fig.6].
- [0071] Selon un mode de réalisation de l'invention et comme illustré plus particulièrement à la [Fig.2], le système de déplacement 4 comprend un système d'électrode 40 et une unité de commande 100. L'unité de commande 100 est configurée pour permettre d'appliquer une tension électrique, générée ou fournie à partir d'une source d'énergie,

telle qu'une batterie incluse dans l'accéléromètre, à au moins une électrode du système d'électrode pour appliquer une force électrostatique F_e au dispositif de liaison 3 élastiquement déformable.

- [0072] Selon un mode de réalisation de l'invention et comme plus particulièrement illustré dans les exemples des Figures 2 à 6, le système d'électrode comprend une première et une deuxième électrodes réparties de part et d'autre du dispositif de liaison 3 élastiquement déformable et le système de butée 5 fixe comprend deux butées 5A, 5B réparties de part et d'autre du dispositif de liaison 3 élastiquement déformable.
- [0073] Selon un mode de réalisation de l'invention, chaque électrode du système d'électrode est dite activable/désactivable au sens où une tension électrique donnée peut être ou non appliquée à ladite électrode via ladite unité de commande 100. Ainsi, l'activation d'une première électrode 4A (i.e. l'application d'une tension donnée à ladite électrode par l'unité de commande 100), tandis que la deuxième électrode 4B est désactivée (i.e. non soumise à une tension de la part de l'unité de commande 100), entraîne le déplacement de la butée mobile 34 du dispositif de liaison 3 élastiquement déformable en butée contre la butée fixe 5A. L'activation de la deuxième électrode 4B (la première électrode 4A étant désactivée), entraîne le déplacement de la butée mobile 34 du dispositif de liaison 3 élastiquement déformable en butée contre la butée fixe 5B.
- [0074] Il est également possible que les butées fixes 5A et 5B soient utilisées en tant qu'électrodes pour attirer la ou les butées mobiles. Pour éviter un courant de fuite trop fort entre une butée mobile et une butée fixe lors du contact mécanique entre elles, on peut prévoir qu'un isolant soit présent sur ou autour d'une ou des butées fixe ou mobile, ou que la surface de contact entre les butées soit réduite.
- [0075] Le système d'électrode 40 peut être piloté pour appliquer la force électrostatique F_e sur le dispositif de butée mobile 34 dans une direction et un sens donné, pour entraîner le déplacement du dispositif de liaison 3 élastiquement déformable contre une partie du système de butée 5, et ainsi la mise en tension/déformation élastique du dispositif de liaison 3 élastiquement déformable.
- [0076] L'unité de commande 100 permet de commander le système d'électrode 40 pour appliquer à la ou chaque électrode du système d'électrode, une tension électrique pour générer une force électrostatique de déplacement sur le dispositif de butée mobile 34 associé au système d'électrode 40, vers une partie du système de butée 5 fixe qui est supérieure à la force minimale nécessaire pour positionner le dispositif de butée mobile 34 en contact avec ladite partie du système de butée 5 fixe. L'application d'une tension électrique constante adaptée (i.e. suffisante) pour déplacer le dispositif de liaison 3 élastiquement déformable en butée contre le système de butée 5 fixe fait qu'il n'est pas nécessaire de prévoir un système de boucle de régulation de la tension électrique appliquée aux électrodes.

- [0077] Selon un mode de réalisation de l'invention, la tension donnée appliquée est dite suffisante au sens où, en l'absence de système de butée 5 fixe, le dispositif de butée mobile 34 du dispositif de liaison 3 élastiquement déformable serait, depuis une position au repos définie comme étant une position du dispositif de butée mobile 34 en l'absence de tension électrique appliquée au système électrode et en l'absence de force statique subie par la masse sismique, déplacé du fait de l'application de cette tension électrique au système d'électrode sur une distance supérieure à la distance sur laquelle le dispositif de butée mobile 34 est déplacé lorsque le dispositif de butée mobile 34 est amené en butée (et donc bloqué) contre le système de butée 5 fixe par l'application de cette tension électrique.
- [0078] En variante, on peut prévoir d'appliquer une force plus faible mais de l'appliquer sinusoïdalement à la fréquence de résonance du système formé par le dispositif de liaison 3 élastiquement déformable et le dispositif de butée mobile correspondant. En effet, dans un environnement sous vide, l'oscillation va entraîner un déplacement de plus en plus important du dispositif de butée mobile 34, et lorsque le déplacement amène le dispositif de butée mobile 34 en contact avec le dispositif de butée fixe, l'espace entre l'électrode et le dispositif de liaison 3 élastiquement déformable est réduit, de sorte que la force électrostatique est plus importante pour une tension donnée. La force électrostatique appliquée lorsque le dispositif de butée mobile 34 est en butée avec le système de butée fixe 5 doit être supérieure à la force de rappel de l'ensemble du dispositif de liaison 3 élastiquement déformable et du dispositif de butée mobile 34 pour permettre au dispositif de butée mobile 34 de rester en butée contre le système de butée fixe 5 lorsque la masse est en outre soumise à une accélération.
- [0079] Une telle combinaison du système d'électrode 40 avec le dispositif de butée mobile 34 lié au dispositif de liaison 3 élastiquement déformable et le système de butée fixe 5 permet d'appliquer sur la masse sismique 1 une force de rappel qui est réglable selon des valeurs discrètes en utilisant une force électrostatique pour tirer le dispositif de butée mobile 34 contre le système de butée 5 fixe. Cela crée une force de rappel réglable (selon les électrodes activées) sur la masse 1 qui permet de compenser la force de gravité.
- [0080] Le dispositif de butée mobile 34 est arrêté mécaniquement par le système de butée 5 fixe. Le bruit total de l'accéléromètre n'est pas affecté par le bruit de la force électrostatique.
- [0081] En fonction de la direction et du sens de la traction électrostatique, la force de rappel peut ainsi compenser une force statique que subit la masse et qui peut présenter différentes valeurs et directions ou sens. En particulier, la force de rappel peut compenser la force de gravité que subissent la masse et le capteur d'accélération lorsque l'axe de sensibilité est orienté verticalement. On peut aussi prévoir d'appliquer une force de

rappel totale nulle lorsque l'accéléromètre est positionné de sorte que l'axe de sensibilité du capteur est orienté horizontalement.

- [0082] Préférentiellement et comme illustré plus particulièrement aux Figures 2 à 6, la force électrostatique que permet de générer le système d'électrode est réversible, la force de rappel F_R résultante qui s'applique à la masse 1 est réversible et peut être modifiée ultérieurement si l'orientation du capteur d'accélération par rapport à la gravité est modifiée.
- [0083] Ensembles de liaison
- [0084] Selon différents modes de réalisation de l'invention et comme illustré et détaillé ci-après aux Figures 2 à 6, l'accéléromètre peut comprendre plusieurs ensembles appelés ensembles de liaison, composés chacun d'un dispositif de liaison 3 élastiquement déformables, d'un dispositif de butée mobile 34 associé, d'un système de butée 5 fixe et d'un système de déplacement 4. Les ensembles de liaison peuvent comprendre des parties en commun.
- [0085] Les ensembles de liaison sont répartis à différentes positions par rapport à la masse 1 ou au support 2, pour pouvoir générer la force de rappel résultante souhaitée en termes de direction, sens et de valeur, en particulier en fonction de l'orientation, du sens et de la valeur de la force statique, telle que la force de gravité, à compenser.
- [0086] Selon un mode de réalisation de l'invention et comme illustré plus particulièrement aux Figures 3A et 4A, le déplacement en butée du dispositif de butée mobile 34 du dispositif de liaison 3 contre le système de butée 5 fixe d'un ensemble de liaison est commandable par l'unité de commande 100 séparément d'un autre ensemble de liaison, de manière à régler la force résultante de compensation appliquée à la masse.
- [0087] Unité de commande
- [0088] L'unité de commande 100 permet de commander le système de déplacement 4 pour pouvoir déplacer le dispositif de butée mobile 34 en butée contre le système de butée 5 fixe.
- [0089] Comme illustré de manière schématique à la [Fig.2A], l'unité de commande 100 est configurée pour permettre de commander sélectivement la position du dispositif de butée mobile 34 parmi un ensemble de plusieurs positions discrètes qui comprennent une position de repos et une ou des positions définies par une ou des butées du système de butée 5 fixe.
- [0090] Selon un mode de réalisation de l'invention, les positions discrètes que peut prendre le dispositif de butée mobile 34 comprennent:
- [0091] -une position de repos correspondant à l'absence de commande de déplacement du dispositif de butée mobile 34 par l'unité de commande 100. La position de repos correspond à l'absence d'application de tension électrique sur le système d'électrode associé au dispositif de butée mobile 34 ou à l'application d'une différence de potentiel

nulle entre le système d'électrode et la butée mobile 34, ce qui se traduit par l'absence d'application de force de déplacement (force électrostatique) sur le dispositif de butée mobile 34 et donc l'absence d'application d'une force de rappel supplémentaire sur la masse sismique par déplacement du dispositif de butée mobile 34,

- [0092] - une première position de mise en tension élastique du dispositif de liaison 3 élastiquement déformable dans laquelle le dispositif de liaison 3 élastiquement déformable applique une première force de rappel sur la masse sismique 1. La première position correspond à la position obtenue par l'application d'une tension électrique au système d'électrode qui génère une force électrostatique dans un sens sur le dispositif de butée mobile 34 et ainsi l'application d'une première force de rappel correspondante sur la masse sismique 1.
- [0093] Préférentiellement, les positions discrètes que peut prendre le dispositif de butée mobile 34 comprennent: aussi une deuxième position de mise en tension élastique du dispositif de liaison 3 élastiquement déformable dans laquelle le dispositif de liaison 3 élastiquement déformable applique une deuxième force de rappel sur la masse sismique 1. La deuxième position correspond à la position obtenue par l'application d'une tension électrique au système d'électrode qui génère une force électrostatique en sens opposé (par rapport au sens correspondant à la première position) sur le dispositif de butée mobile 34 et ainsi l'application d'une deuxième force de rappel correspondante, de sens opposé à la première force de rappel, sur la masse sismique 1.
- [0094] Les différentes positions discrètes que peut prendre le dispositif de butée mobile 34 dépendent de la configuration du système de butée 5 fixe.
- [0095] L'unité de commande 100 est alors configurée pour permettre de commander sélectivement la position du dispositif de butée 34 mobile de chaque ensemble de liaison parmi ledit ensemble de positions discrètes. Il est ainsi possible en commandant indépendamment les unes des autres la position de chaque dispositif de butée mobile 34 pour obtenir l'une des positions discrètes disponibles pour le dispositif de butée mobile 34 correspondant, d'appliquer des forces de rappel (locales) sur la masse sismique 1 dont certaine(s) peuvent présenter différentes caractéristiques (sens, valeur, orientation) de manière à obtenir une force de rappel globale appliquée par l'ensemble des dispositifs de butée mobile 34 sur la masse sismique 1 qui est réglable selon la combinaison de position des dispositifs de butée mobile 34 sélectionnée.
- [0096] A la [Fig.2A], les différentes positions que peut prendre le dispositif de butée mobile 34 sont représentées de manière superposée sur le même schéma, mais sont bien entendu obtenues sélectivement.
- [0097] La description réalisée ci-dessus, en particulier en lien avec la [Fig.2A] dans le cas simplifié d'un ensemble de liaison formé d'un système de butée fixe 5, d'un dispositif de liaison 3 élastiquement déformable, d'un dispositif de butée mobile 34 et d'un

système de déplacement 4 (non représenté), est aussi applicable dans le cas où l'accéléromètre comprend plusieurs ensembles de liaison répartis à différentes localisations par rapport à la masse, comme illustré de manière schématique plus particulièrement aux Figures 2 et 3 à 6.

- [0098] L'unité de commande 100 peut ainsi être configurée pour commander les ensembles de liaison de manière à appliquer une force de rappel sur la masse sismique 1 par le dispositif de liaison 3 élastiquement déformable, qui est différente de la force de rappel appliquée par un autre ensemble de liaison, par sa direction, son sens et/ou sa valeur selon la configuration de l'ensemble de liaison et de la butée du système de butée fixe contre laquelle le dispositif de butée mobile est déplacé.
- [0099] La différence entre deux forces de rappel peut être une différence de sens de déplacement du dispositif de butée mobile contre une butée du système de butée fixe et/ou une différence de valeur selon la configuration de l'ensemble de liaison, telle que la raideur (qui dépend de la longueur, de la largeur, de la hauteur et du module d'Young du matériau utilisé) du dispositif de liaison 3 élastiquement déformable et/ou la distance (considérée en position de repos) entre le dispositif de butée mobile 34 et le système de butée fixe 5 (en particulier la distance entre le dispositif de butée mobile 34 et la ou les butées 5A, 5B du dispositif de butée fixe 5).
- [0100] La commande des ensembles de liaison par l'unité de commande 100 permet ainsi d'obtenir différentes valeurs discrètes de force de rappel globale résultant des positions des dispositifs de butée mobile 34 commandée par l'unité de commande.
- [0101] Une telle conception de l'accéléromètre permet d'adapter la force de rappel globale appliquée à la masse en fonction de l'orientation de l'accéléromètre. En particulier, l'accéléromètre (plus particulièrement l'axe de sensibilité du capteur d'accélération) peut être orienté verticalement vers le bas ou vers le haut, ou horizontalement ou encore être incliné. Lorsque le capteur d'accélération est incliné par rapport à la direction de la force statique à compenser, la direction de la force statique à compenser est par exemple verticale dans le cas de la force de gravité. Dans ce cas, la valeur de force statique à compenser correspond à la valeur de la force statique projetée sur l'axe de sensibilité A_s .
- [0102] A la [Fig.3], on a représenté un mode de réalisation de l'accéléromètre, de manière simplifiée, dans une configuration où les dispositifs de butée mobile 34 sont en position de repos correspondant à une absence de force électrostatique appliquée au dispositif de liaison 3 élastiquement déformable correspondant et donc à une absence de force électrostatique appliquée aux dispositifs de butée mobile 34.
- [0103] Dans l'exemple de la [Fig.3A], l'accéléromètre est dans une configuration où le capteur d'accélération est orienté horizontalement, i.e. que l'axe A_s est horizontal. Ainsi, en position horizontale de l'accéléromètre, on peut prévoir que l'unité 100 soit

configuré pour commander les système de déplacement 40 de sorte que les dispositifs de butée mobile 34 sont tirés en sens opposés pour maintenir une force de rappel globale nulle sur la masse sismique.

- [0104] Selon la configuration de l'accéléromètre, on peut aussi prévoir que certains ou tous les dispositifs de butée mobile 34 restent en position de repos.
- [0105] Dans l'exemple de la [Fig.3B], l'accéléromètre est dans une configuration où le capteur d'accélération est orienté verticalement, i.e. que l'axe A_s est vertical. Ainsi, en position verticale de l'accéléromètre, on peut prévoir que l'unité 100 soit configurée pour commander les système d'électrode 40 de sorte que les butées mobiles 34 sont tirées dans les mêmes directions et en sens opposé de la force de gravité qui s'applique sur la masse sismique, pour venir contre les butées fixes 5A.
- [0106] Selon un mode de réalisation l'accéléromètre comprend au moins trois ensembles de liaison, ce qui permet d'appliquer plusieurs valeurs de force de rappel selon la position qu'occupe le dispositif de butée mobile 34 pour chacun des ensembles de liaison.
- [0107] Selon un mode de réalisation de l'invention, il est prévu que chacun de deux côtés opposés de la masse sismique 1, soit muni d'au moins trois ensembles de liaison, par exemple quatre ensemble comme dans l'exemple de la [Fig.4].
- [0108] Comme illustré à la [Fig.4A] pour une orientation de l'accéléromètre où celui-ci présente un axe de sensibilité A_s incliné par rapport à la force de gravité g , de sorte que seule la valeur du projeté de la force de gravité g sur la direction A_s a besoin d'être compensée, l'unité de commande 100 peut être configurée pour obtenir une force de rappel globale sur la masse sismique compensant la gravité, en commandant pour chaque côté de la masse sismique 1, le déplacement d'une partie des dispositifs de butée mobile 34 contre une butée 5A du système de butée 5 fixe, par exemple les trois dispositifs de butée mobile 34 les plus haut et le déplacement d'une autre partie des dispositifs de butée mobile 34, par exemple le dispositif de butée mobile 34 le plus bas, contre une butée 5B du système de butée 5 fixe.
- [0109] L'unité de commande 100 se présente par exemple sous la forme d'un micro-processeur et d'une mémoire de données dans laquelle sont stockées des instructions informatiques exécutables par ledit microprocesseur, ou encore sous la forme d'un microcontrôleur.
- [0110] Autrement dit, les fonctions et étapes décrites peuvent être mise en œuvre sous forme de programme informatique ou via des composants matériels (p. ex. des réseaux de portes programmables). En particulier, les fonctions et étapes opérées par l'unité de commande pour la commande du système de déplacement du ou de chaque dispositif de liaison élastiquement déformable, ou l'unité de traitement pour la mesure de l'accélération, peuvent être réalisées par des jeux d'instructions ou modules informatiques implémentés dans un processeur ou contrôleur ou être réalisées par des

composants électroniques dédiés ou des composants de type circuit logique programmable (ou FPGA qui est l'acronyme de l'anglais field-programmable gate array, ce qui correspond littéralement à réseau de portes programmable in-situ) ou de type circuit intégré propre à une application (ou ASIC qui est l'acronyme de l'anglais application-specific integrated circuit, ce qui correspond littéralement à circuit intégré spécifique à une application). Il est aussi possible de combiner des parties informatiques et des parties électroniques.

[0111] L'unité de commande ou de traitement est ainsi une unité électronique et/ou informatique. Lorsqu'il est précisé que ladite unité est configurée pour réaliser une opération donnée, cela signifie que l'unité comprend des instructions informatiques et les moyens d'exécution correspondants qui permettent de réaliser ladite opération et/ou que l'unité comprend des composants électroniques correspondants.

[0112] Modes de réalisation particuliers

[0113] On peut prévoir que le dispositif de liaison 3 élastiquement déformable d'un ensemble de liaison présente au moins une caractéristique physique, telle que la raideur pour un ressort, qui est différente de celle du dispositif de liaison 3 élastiquement déformable d'un autre ensemble de liaison. Ainsi dans le cas où les dispositifs de liaison 3 élastiquement déformables sont des ressorts, on peut prévoir qu'un ou plusieurs ressort présente(nt) des caractéristiques techniques différentes d'un ressort à un autre de manière à obtenir différentes valeurs d'effort de rappel locales résultant de la sollicitation de ces ressorts. Une telle configuration permet d'obtenir un réglage encore plus fin de la force de rappel globale appliquée sur la masse mobile.

[0114] On peut calculer la force de rappel F_R d'un ressort comme étant égale à $K \cdot x$, avec K la raideur du ressort et x le déplacement de la butée mobile 34 depuis la position de repos jusqu'à la mise en contact avec une butée du système de butée fixe 5.

[0115] Ainsi, on peut prévoir selon des modes de réalisation de l'invention, que la force de rappel F_R de chaque ressort soit ajustée par des modifications de conception sur la dimension des ressorts (épaisseur/longueur/largeur/ressorts pliés...), ou en ajustant l'écart entre une butée mobile 34 et une butée du système de butée fixe 5 ou en changeant le matériau utilisé pour les ressorts. La [Fig.5] illustre un exemple avec une longueur différente pour un ressort de chaque côté de la masse de sorte que la force de rappel F_R locale exercée par le ressort le plus long sur la masse sismique est plus faible que la force de rappel F_R exercée sur la masse sismique par un ressort plus court.

[0116] Selon un autre mode de réalisation de la solution et comme par exemple illustré en [Fig.6], on peut prévoir que le système de déplacement 4 comprend un système de levier configuré pour permettre de déplacer les dispositifs de butée mobile 34 contre des butées 5A ou 5B du système de butée fixe 5 en utilisant pour chaque ensemble de liaison de la masse 1 au support 2, un contrepoids 46 (telle qu'une petite masse par

comparaison avec la masse sismique) fixé à un levier 36 lui-même relié au dispositif de butée mobile 34 de sorte que, par libération du déplacement du contrepoids par gravité, le levier 36 pivote autour d'un axe pivot A36 en entraînant en déplacement le dispositif de butée mobile 34 contre une butée fixe du système de butée fixe 5.

[0117] L'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation illustrés dans les dessins.

[0118] De plus, le terme « comprenant » n'exclut pas d'autres éléments ou étapes. En outre, des caractéristiques ou étapes qui ont été décrites en référence à l'un des modes de réalisation exposés ci-dessus peuvent également être utilisées en combinaison avec d'autres caractéristiques ou étapes d'autres modes de réalisation exposés ci-dessus.

Revendications

- [Revendication 1] Accéléromètre comportant :
- un support (2) ;
 - une masse, appelée masse sismique (1) à laquelle est associé un capteur d'accélération qui présente au moins un axe de sensibilité d'accélération (A_s), la masse sismique étant susceptible d'être soumise à une force induite par une accélération à mesurer, et à une force statique, telle que la force de pesanteur ou une force d'inertie ; et
 - un dispositif de liaison (3) élastiquement déformable, tel qu'un ressort, qui relie la masse sismique (1) au support (2) ;
- caractérisé en ce que l'accéléromètre comprend aussi :
- un système de butée (5) fixe, et un dispositif de butée mobile (34) qui est fixé au dispositif de liaison (3) élastiquement déformable, ou qui forme partie du dispositif de liaison (3) élastiquement déformable,
 - un système de déplacement (4) configuré pour déplacer le dispositif de butée mobile (34) contre le système de butée (5) fixe, de manière à déformer élastiquement le dispositif de liaison (3) élastiquement déformable pour appliquer une force de rappel (F_R) à la masse sismique (1).
- [Revendication 2] Accéléromètre selon la revendication 1, dans lequel, le dispositif de butée mobile (34) étant électriquement conducteur, le système de déplacement (4) comprend un système d'électrode (40) comprenant au moins une, de préférence au moins deux électrodes, et une unité de commande (100) configurée pour appliquer une tension électrique à ladite au moins une électrode pour exercer une force électrostatique (F_e) sur le dispositif de butée mobile (34) entraînant son déplacement en butée contre le système de butée (5) fixe.
- [Revendication 3] Accéléromètre selon la revendication 2, dans lequel l'unité de commande (100) est configurée pour commander le système d'électrode (40) pour appliquer à ladite au moins une électrode une tension électrique donnée, générant une force électrostatique sur le dispositif de butée mobile (34) qui est supérieure à la force minimale nécessaire pour maintenir le dispositif de butée mobile (34) en contact avec le système de butée (5) fixe.
- [Revendication 4] Accéléromètre selon l'une quelconque des revendications 2 ou 3, dans lequel le système d'électrode (40) comprend une première et une deuxième électrodes (4A, 4B) réparties de part et d'autre du dispositif

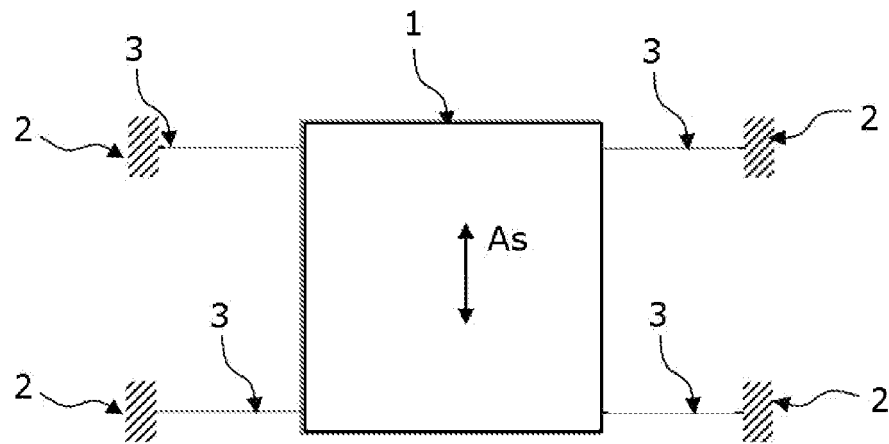
de liaison (3) élastiquement déformable, et le système de butée (5) fixe comprend deux butées (5A, 5B) réparties de part et d'autre du dispositif de liaison (3) élastiquement déformable, de sorte que la mise sous tension d'une première électrode à une valeur donnée, entraîne le déplacement du dispositif de butée mobile (34) en butée contre une première butée (5A) du système de butée (5) fixe, et la mise sous tension de la deuxième électrode (4B) à une valeur donnée, entraîne le déplacement du dispositif de butée mobile (34) du dispositif de liaison (3) élastiquement déformable en butée contre la deuxième butée (5B) du système de butée (5) fixe.

- [Revendication 5] Accéléromètre selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, l'accéléromètre comprenant une unité de commande (100) et l'ensemble du dispositif de liaison (3) élastiquement déformable, du dispositif de butée mobile (34), du système de déplacement (4), et du système de butée (5) fixe formant un ensemble, appelé ensemble de liaison, l'accéléromètre comprend plusieurs ensembles de liaison, le déplacement en buté du dispositif de butée mobile (34) du dispositif de liaison (3) contre le système de butée (5) d'un ensemble de liaison étant commandable par l'unité de commande (100) indépendamment du déplacement du dispositif de butée mobile (34) d'un autre ensemble de liaison.
- [Revendication 6] Accéléromètre selon la revendication 5, dans lequel l'unité de commande (100) est configurée pour commander les ensembles de liaison (3) de manière à appliquer une valeur de force de rappel sur la masse sismique (1) par le dispositif de liaison (3) élastiquement déformable, qui est différente de la force de rappel appliquée sur la masse sismique (1) par un autre ensemble de liaison.
- [Revendication 7] Accéléromètre selon la revendication 6, dans lequel le dispositif de liaison (3) élastiquement déformable d'au moins un ensemble de liaison présente au moins une caractéristique physique, telle que la longueur et/ou la raideur, qui est différente de la caractéristique physique correspondante du dispositif de liaison (3) élastiquement déformable d'un autre ensemble de liaison de l'accéléromètre.
- [Revendication 8] Accéléromètre selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'accéléromètre est un système micro-électromécanique.
- [Revendication 9] Accéléromètre selon l'une quelconque des revendications précédentes, prise en combinaison avec la revendication 2, dans lequel le système de butée fixe (5) est en tout ou partie commun avec le système d'électrode

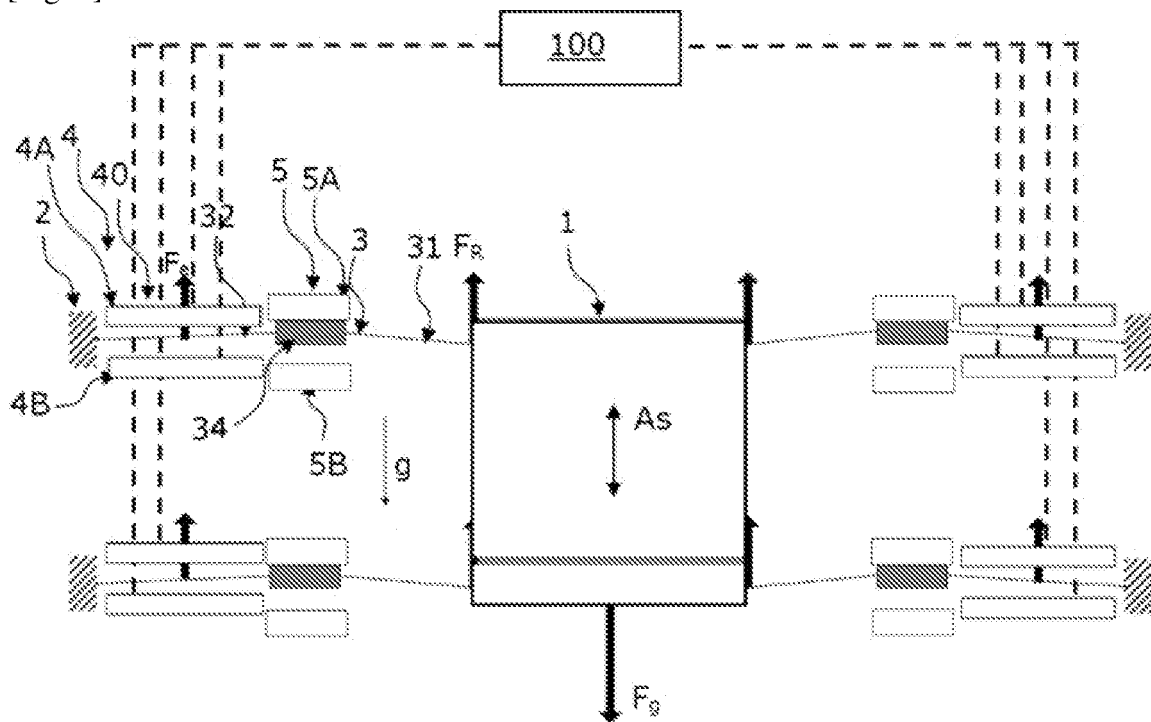
- (40).
- [Revendication 10] Accéléromètre selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le système de butée fixe (5) est formé d'une seule pièce avec le support (2).
- [Revendication 11] Accéléromètre selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le dispositif de liaison (3) élastiquement déformable est formé d'une seule pièce avec le support (2).
- [Revendication 12] Accéléromètre selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, l'accéléromètre comprenant une unité de commande (100) permettant de commander le système de déplacement (4), l'unité de commande (100) est configurée pour, de préférence pour chaque ensemble de liaison lorsque l'accéléromètre comprend plusieurs ensembles de liaison, permettre de commander sélectivement la position du dispositif de butée mobile (34) parmi un ensemble discret de positions.
- [Revendication 13] Accéléromètre selon la revendication précédente, dans lequel, l'ensemble discret de positions du dispositif de butée mobile (34) comprend les positions suivantes :
- une position dite de repos du dispositif de liaison (3) élastiquement déformable correspondant à l'absence de commande de déplacement du dispositif de butée mobile (34) par l'unité de commande (100) ;
 - une première position de tension dans laquelle le dispositif de butée mobile (34) est en butée contre le système de butée fixe (5), de sorte que le dispositif de liaison (3) élastiquement déformable est en tension élastique et applique sur la masse sismique (1) une première force de rappel;
 - et, de préférence, une deuxième position de tension dans laquelle le dispositif de butée mobile (34) est en butée contre le système de butée fixe (5), de sorte que le dispositif de liaison (3) élastiquement déformable est en tension élastique et applique sur la masse sismique (1) une deuxième force de rappel, qui est différente de la première force de rappel.
- [Revendication 14] Procédé de compensation au moins partielle d'une force statique, telle que la force de gravité, que subit la masse sismique (1) d'un accéléromètre selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le procédé comprend le déplacement du dispositif de butée mobile (34) contre le système de butée fixe (5) de sorte que le dispositif de liaison (3) élastiquement déformable est en tension élastique et

applique sur la masse sismique (1) une force de rappel (F_R) qui compense au moins partiellement ladite force statique que subit la masse sismique (1).

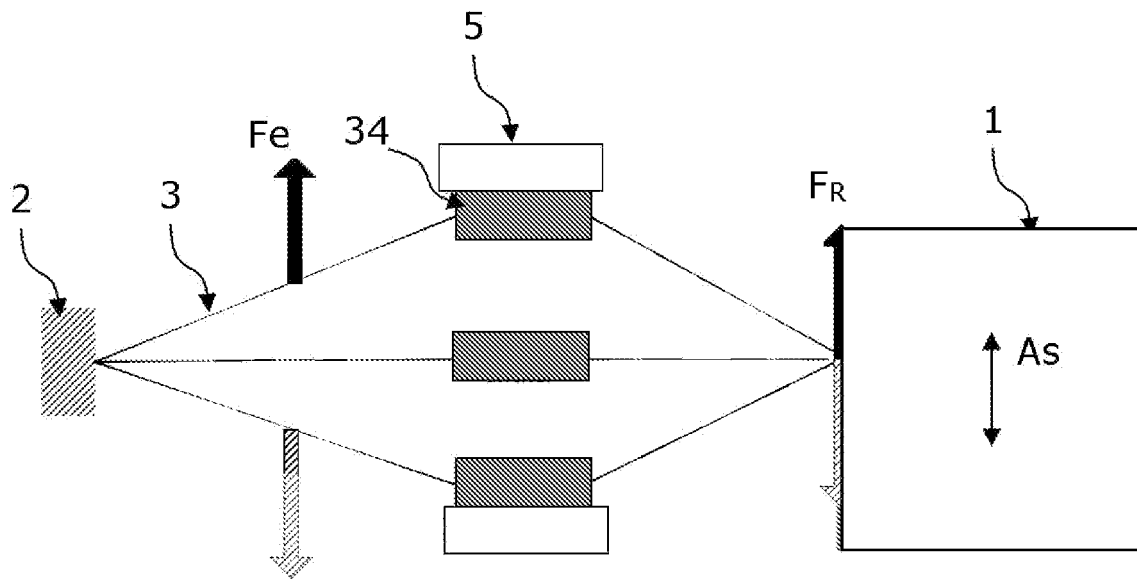
[Fig. 1]

**FIG.1 – ETAT DE LA TECHNIQUE**

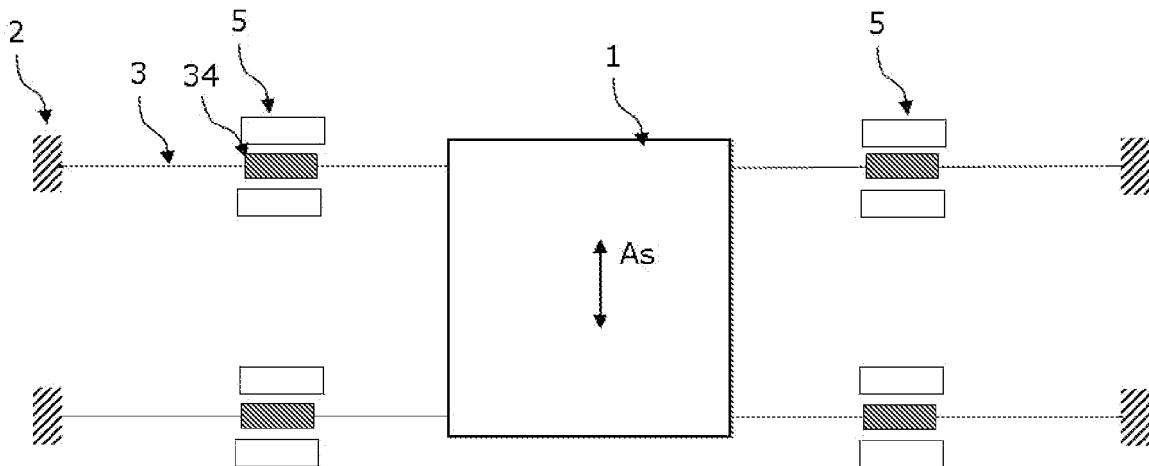
[Fig. 2]

**FIG.2**

[Fig. 2A]

**FIG.2A**

[Fig. 3]

**FIG.3**

[Fig. 3A]

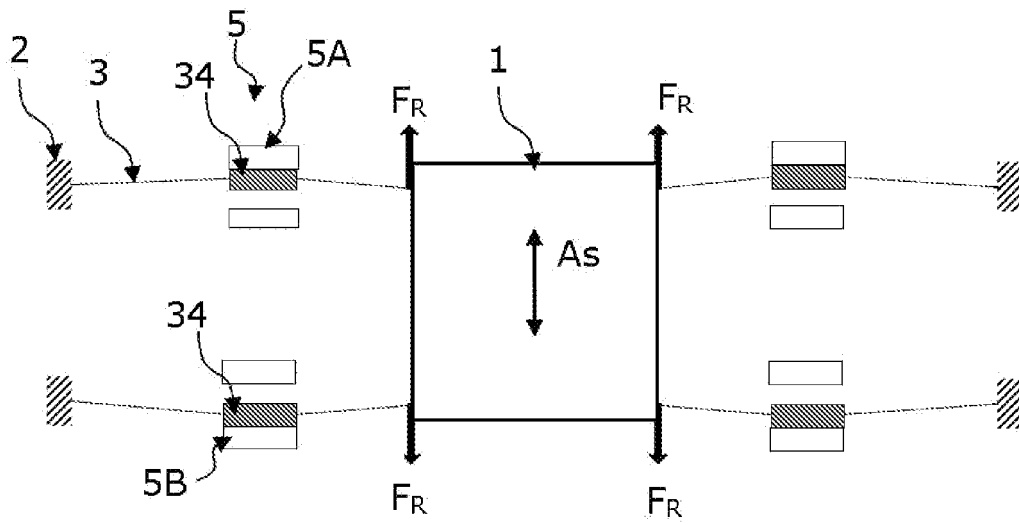


FIG.3A

[Fig. 3B]

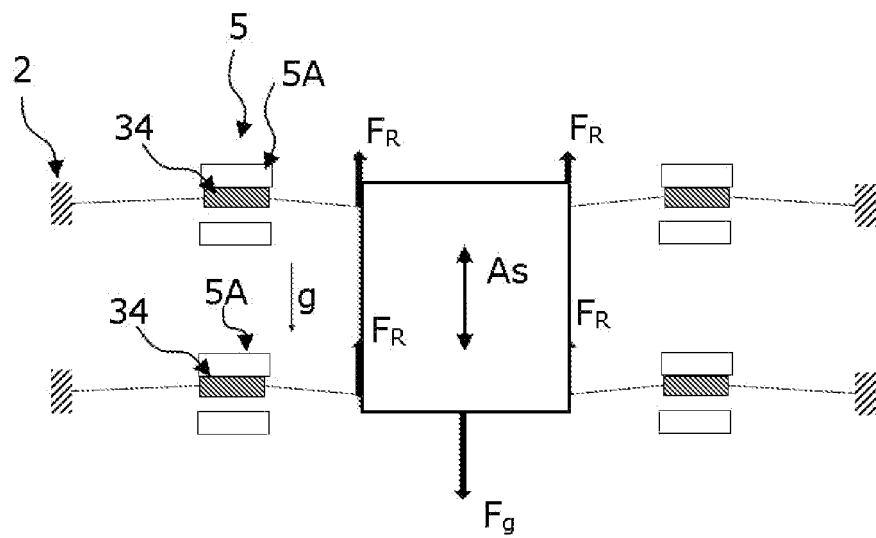
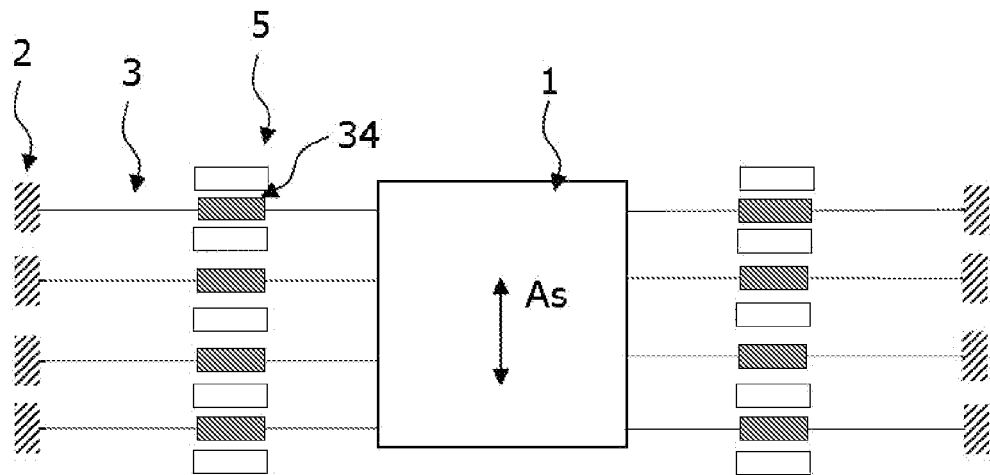
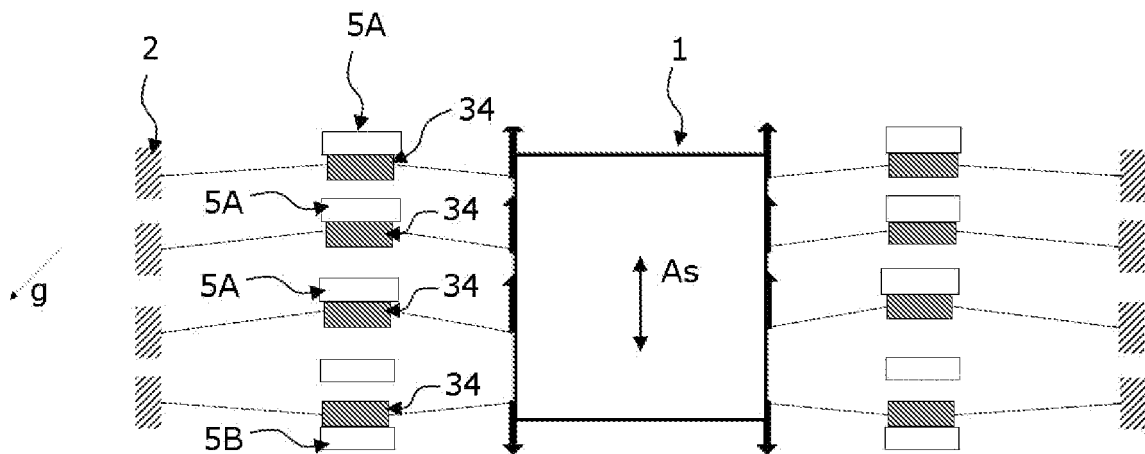


FIG.3B

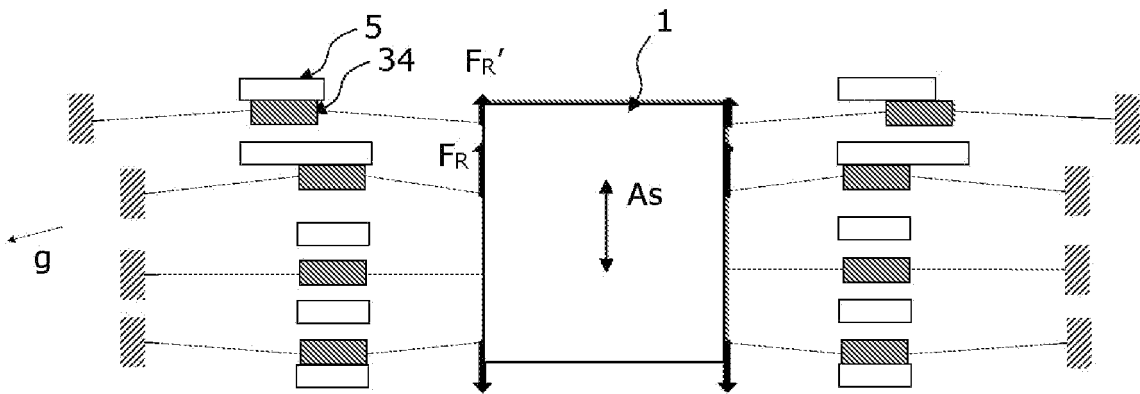
[Fig. 4]

**FIG.4**

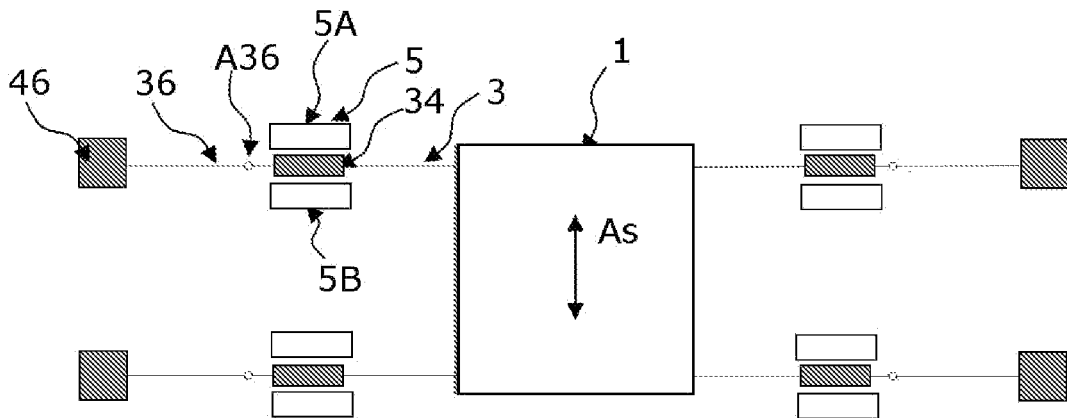
[Fig. 4A]

**FIG.4A**

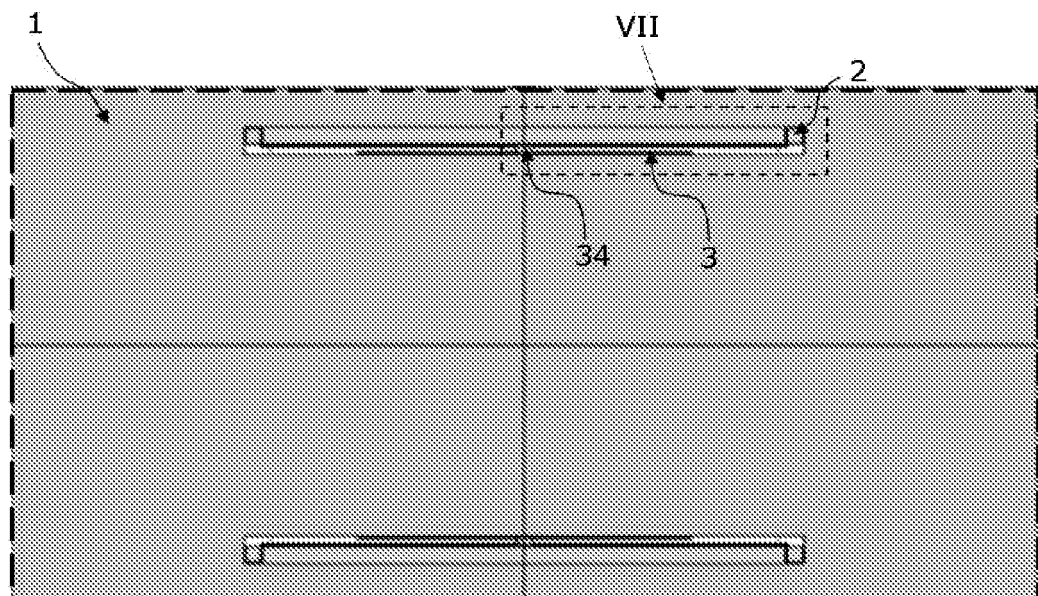
[Fig. 5]

**FIG. 5**

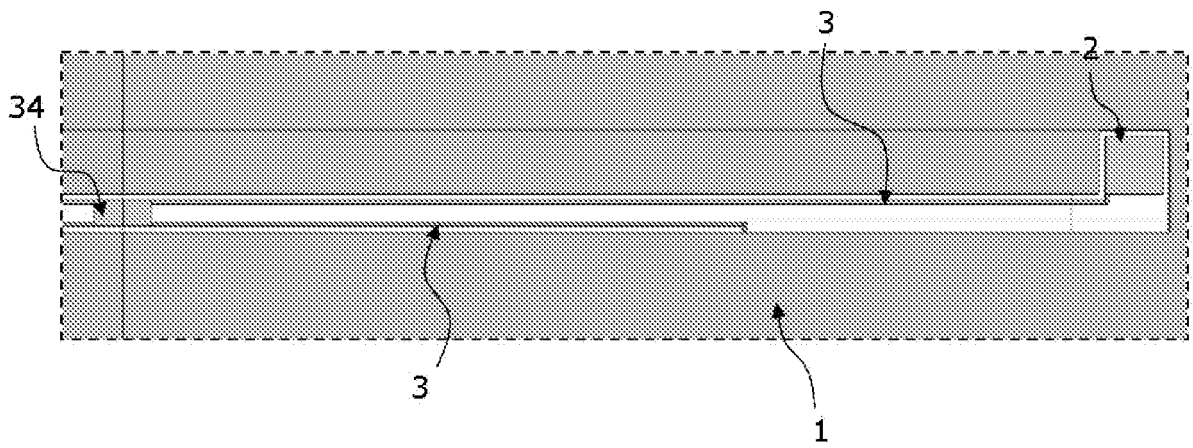
[Fig. 6]

**FIG. 6**

[Fig. 7]

**FIG. 7**

[Fig. 7A]

**FIG.7A**

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

NEANT

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

DE 10 2021 200147 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 14 juillet 2022 (2022-07-14)

US 2017/082519 A1 (BLOMQVIST ANSSI [FI] ET AL) 23 mars 2017 (2017-03-23)

EP 0 702 796 A1 (CORNELL RES FOUNDATION INC [US]) 27 mars 1996 (1996-03-27)

US 2018/024160 A1 (KOENIG STEFAN [DE] ET AL) 25 janvier 2018 (2018-01-25)

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

NEANT