



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
**11.11.2015 Bulletin 2015/46**

(51) Int Cl.:  
**G04B 17/20 (2006.01)** **G04B 17/22 (2006.01)**  
**G04B 17/04 (2006.01)**

(21) Numéro de dépôt: **14167078.6**

(22) Date de dépôt: **05.05.2014**

(84) Etats contractants désignés:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO  
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Etats d'extension désignés:  
**BA ME**

(72) Inventeur: **Vardi, Ilan**  
**2000 Neuchâtel (CH)**

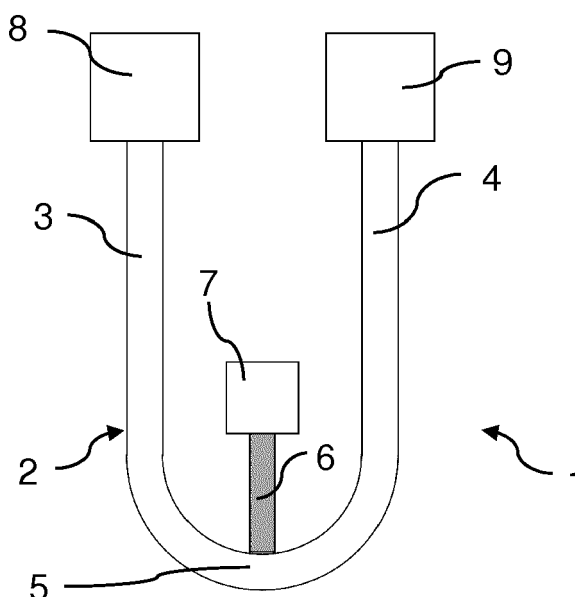
(74) Mandataire: **Schneiter, Sorin**  
**Schneiter & Vuille**  
**Chemin de Champ-Colomb 7B**  
**1024 Ecublens (CH)**

(71) Demandeur: **Asgalium Unitec S.A.**  
**2016 Cortaillod (CH)**

(54) **Oscillateur mécanique à diapason pour mouvement horloger**

(57) Montre bracelet comportant un mouvement horloger mécanique avec un résonateur du type diapason. L'oscillateur comprend de préférence un matériau A à frottement interne faible. Dans l'oscillateur de l'invention, les oscillations symétriques non-souhaitées sont évitées, par exemple, par le choix des matériaux dont le diapason est fabriqué. Selon des modes de réalisations préférées,

la tige et/ou la fixation de l'oscillateur comporte un matériau ayant un frottement interne plus important que celui dudit matériau A, de façon que le facteur de qualité  $Q_2$  des oscillations symétriques soit diminué, contrairement au facteur de qualité  $Q_1$  du mode d'oscillation antisymétrique.



**Figure 3 A**

## Description

### Domaine technique

**[0001]** La présente invention concerne un oscillateur du type diapason, un mouvement horloger comportant l'oscillateur ainsi qu'une pièce d'horlogerie comportant l'oscillateur. En particulier, l'invention concerne une pièce d'horlogerie mécanique comportant l'oscillateur.

### Etat de la technique et problèmes à l'origine de l'invention

**[0002]** Un but de la présente invention est d'améliorer les performances du mouvement mécanique d'une pièce d'horlogerie, en particulier d'une pièce d'horlogerie mécanique. Le balancier-spiral, utilisé depuis longtemps comme oscillateur dans les montres mécaniques, a fait ses preuves, mais en dépit, ou peut-être en raison, de siècles de recherche et de développement, il se peut qu'il soit proche de ses limites. Ainsi, les meilleurs balanciers-spiral parviennent à un facteur de qualité  $Q$  d'environ 300. Le facteur de qualité d'un oscillateur étant défini par la formule  $Q = 2\pi \times (\text{énergie stockée} / \text{énergie perdue à chaque période})$ , il représente essentiellement le nombre d'oscillations après lequel l'oscillateur perd toute son énergie et s'arrête.

**[0003]** Le diapason est bien connu pour ses qualités de base de temps, les montres-bracelets à diapason des années 1960 étaient les plus précises du monde jusqu'à l'avènement de la montre à quartz. Max Hetzel est à l'origine d'un grand nombre d'inventions brevetées, relatives à la mise en oeuvre d'un diapason comme oscillateur, qui ont conduit à la production de la montre-bracelet Accutron (marque déposée), commercialisée par la société Bulova Swiss SA.

**[0004]** La montre Accutron comprend toutefois un résonateur électronique étant donné que chaque branche du diapason porte un aimant permanent associé à un électro-aimant monté fixe sur le bâti de la montre. Le fonctionnement de chaque électro-aimant est asservi aux vibrations du diapason par l'intermédiaire des aimants qu'il porte, de telle manière que les vibrations du diapason sont entretenues par la transmission d'impulsions magnétiques périodiques des électro-aimants aux aimants permanents. Une des branches du diapason actionne un cliquet permettant d'entraîner en rotation les mobiles du rouage de finissage de la montre.

**[0005]** Le brevet US 2,971,323, par exemple, issu d'un dépôt datant de 1957, décrit un tel mécanisme qui ne peut toutefois convenir à la réalisation d'une montre purement mécanique, c'est-à-dire dépourvue de circuits électroniques. En effet, un besoin réel existe, en termes de marché, pour des pièces d'horlogerie purement mécaniques présentant une précision de marche accrue par rapport aux pièces connues.

**[0006]** Une différence générale entre les montres-bracelets mécaniques et les montres électroniques à diapa-

son acoustique est le fait que, dans ces dernières, l'oscillateur en tant que régulateur du temps sert également comme distributeur d'énergie, c'est-à-dire que les oscillations sont utilisées pour actionner le mouvement (Accutron) ou pour déterminer l'activité d'un moteur électrique qui agit sur les aiguilles, par exemple (montre électronique à quartz). En revanche, dans les montres mécaniques, la régulation se trouve à la fin de la chaîne de la transmission de l'énergie.

**[0007]** Le brevet US 3,208,287, issu d'un dépôt datant de 1962, décrit un résonateur comprenant un diapason couplé à une roue d'échappement par le biais d'interactions magnétiques. Plus précisément, le diapason porte des aimants permanents coopérant avec la roue d'échappement, cette dernière étant réalisée en un matériau conducteur magnétique. La roue d'échappement est reliée cinématiquement à une source d'énergie qui peut être mécanique ou prendre la forme d'un moteur, tandis qu'elle comprend des ouvertures dans son épaisseur telle qu'elle forme un circuit magnétique de reluctance variable lorsqu'elle est entraînée en rotation, en relation avec les aimants portés par le diapason. Ce brevet mentionne une "oscillation anormale", illustrée à la figure 9. Il s'agit en effet d'une oscillation symétrique qui, selon ce brevet, peut être évitée par le positionnement de la roue d'échappement de façon à agir, en même temps, sur les deux lames de l'oscillateur, comme montré aux figures 2 et 3. Cette solution ressemble à celle utilisée dans les montres à quartz électroniques (ainsi qu'à la montre Accutron mentionnée ci-dessus) dans ce sens que le mode d'oscillation symétrique est imposé par l'impulsion simultanée aux deux lames.

**[0008]** Par rapport au brevet US 3,208,287, la présente invention cherche à résoudre plusieurs problèmes techniques. D'une part, il est souhaité d'induire une oscillation antisymétrique en agissant sur une seule lame du diapason, donc sans imposer l'oscillation antisymétrique par l'impulsion simultanée des deux lames. D'autre part, l'utilisation d'aimants pour distribuer de l'énergie à un oscillateur (impulsion par échappement) ou encore pour réguler une énergie n'est pas strictement parlé "mécanique", pour la simple raison que l'énergie est transmise par des forces magnétiques et donc associée à des phénomènes électromagnétiques.

**[0009]** Ce même raisonnement est valable pour l'enseignement de la demande de brevet européen EP 2 466 401.

**[0010]** Au vu de ce qui précède, la présente invention vise à fournir une montre à mouvement mécanique comportant une base de temps plus précise que celle du balancier-spiral classique. Il est un objectif de la présente invention de proposer un oscillateur caractérisé par un facteur de qualité supérieur à celui du balancier-spiral.

**[0011]** En particulier, un objectif de l'invention est de fournir une montre-bracelet à mouvement entièrement mécanique utilisant un oscillateur du type diapason comme base de temps.

**[0012]** Un objectif de la présente invention est d'éviter,

dans un oscillateur à diapason, les oscillations symétriques. Plus particulièrement, la présente invention vise à éviter les oscillations symétriques dans un oscillateur comportant un matériau caractérisé par un frottement interne faible, de façon à rendre l'oscillateur susceptible d'effectuer lesdites oscillations symétriques.

**[0013]** Un objectif de l'invention est de fournir un diapason sur la base d'un matériau ayant un frottement interne faible tel que le silicium monocristallin. L'emploi d'un tel matériau permet d'augmenter le facteur de qualité Q des oscillations, mais rend le diapason susceptible d'effectuer des oscillations symétriques non-souhaitées dans le contexte d'une base de temps.

**[0014]** Un but de la présente invention est de mettre à disposition un oscillateur dans lequel les oscillations antisymétriques sont favorisées, même si les impulsions sont données sur l'une des deux lames seulement, en d'autres termes, en l'absence d'impulsions simultanées aux deux lames.

**[0015]** La présente invention cherche à résoudre les problèmes ci-dessus et présente d'autres avantages qui apparaîtront plus clairement à la lecture de description et des revendications.

### **Résumé de l'Invention**

**[0016]** Dans un aspect, la présente invention concerne une pièce d'horlogerie comportant un mouvement horloger mécanique comportant: un oscillateur du type diapason, ledit oscillateur comportant un ensemble comportant deux lames et une base reliant lesdites lames, ledit oscillateur comportant une tige liée à ladite base, l'oscillateur étant connecté par sa tige à un organe de fixation connecté au mouvement, ledit ensemble comportant ou étant constitué d'un matériau A, ledit matériau A étant caractérisé par un frottement interne faible, ledit mouvement comportant un organe d'impulsion mécanique susceptible d'agir sur l'une des deux lames de façon à induire et maintenir ledit oscillateur en oscillation, ledit oscillateur étant susceptible d'osciller dans un mode antisymétrique souhaité ainsi que dans un mode symétrique non-souhaité, caractérisé en ce que le facteur de qualité  $Q_2$  du mode d'oscillation symétrique dudit oscillateur est réduit par rapport au facteur de qualité  $Q_1$  du mode d'oscillation antisymétrique.

**[0017]** Dans un aspect, la présente invention concerne un oscillateur du type diapason, ledit oscillateur comportant un ensemble comportant deux lames et une base reliant lesdites lames, ledit oscillateur comportant une tige liée à ladite base, l'oscillateur étant connecté par sa tige à un organe de fixation connecté à un support, ledit ensemble étant formé d'un matériau A, caractérisé par un frottement interne faible, ledit oscillateur étant susceptible d'osciller dans un mode antisymétrique souhaité ainsi que dans un mode symétrique non-souhaité, caractérisé en ce que le facteur de qualité  $Q_2$  du mode d'oscillation symétrique dudit oscillateur est réduit par rapport au facteur de qualité  $Q_1$  du mode d'oscillation

antisymétrique.

**[0018]** Dans un aspect, la présente invention concerne un oscillateur du type diapason, ledit oscillateur comportant deux lames et une base reliant lesdites lames, ledit oscillateur comportant une tige liée à ladite base, caractérisé en ce que, dans ledit oscillateur, un mode d'oscillation symétrique est amorti ou empêché par la présence d'un matériau sélectionné dans ou sur ledit oscillateur et/ou dans ou sur une fixation de l'oscillateur.

**[0019]** Dans un aspect, la présente invention concerne un oscillateur du type diapason, ledit oscillateur comportant deux lames et une base reliant lesdites lames, ledit oscillateur comportant une tige liée à ladite base, l'oscillateur étant connecté par sa tige à une fixation, ledit oscillateur étant fabriqué d'un ou plusieurs matériaux rendant ledit oscillateur susceptible d'effectuer des oscillations symétriques, et ledit oscillateur ou la fixation comportant en outre un autre matériau susceptible d'amortir lesdites oscillations symétriques.

**[0020]** Dans un aspect, la présente invention concerne un oscillateur du type diapason, ledit oscillateur comportant deux lames et une base reliant lesdites lames, ledit oscillateur comportant une tige liée à ladite base, l'oscillateur étant connecté par sa tige à une fixation, ledit oscillateur comportant ou étant fabriqué de plusieurs matériaux dont un matériau A et un matériau A', le matériau A' étant caractérisé par un coefficient de dilation thermique de signe inverse à celui du matériau A.

**[0021]** Dans un aspect, la présente invention concerne un mouvement pour pièce d'horlogerie comportant l'oscillateur ainsi qu'une pièce d'horlogerie comportant l'oscillateur.

**[0022]** Dans un aspect, la présente invention concerne l'utilisation d'un matériau ayant un frottement interne comparativement élevé pour éviter une oscillation symétrique dans un oscillateur du type diapason.

### **Description des dessins**

**[0023]** Les caractéristiques et les avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture d'une description d'une forme d'exécution préférentielle, donnée uniquement à titre d'exemple, nullement limitative en se référant aux figures schématiques dans lesquelles:

La **figure 1** représente une vue schématique d'un diapason horloger.

Les **figures 2 A** et **2 B** illustrent l'oscillation antisymétrique et symétrique, respectivement, d'un diapason.

La **figure 3 A** représente une vue schématique d'un diapason selon un premier mode de réalisation de l'invention.

Les **figures 3 B** et **3 C** représentent des vue schématiques des oscillations antisymétriques et symé-

triques, respectivement, de l'oscillateur de la figure 3A.

La **figure 4 A** représente une vue schématique d'un diapason selon un deuxième mode de réalisation de l'invention.

Les **figures 4 B** et **4 C** représentent des vue schématiques des oscillations antisymétriques et symétriques, respectivement, de l'oscillateur de la figure 4A.

#### **Description détaillée des modes de réalisations préférés**

**[0024]** La présente invention concerne un oscillateur du type diapason ainsi qu'une pièce d'horlogerie comportant l'oscillateur et encore un mouvement pour pièce d'horlogerie comportant l'oscillateur.

**[0025]** La pièce d'horlogerie selon l'invention peut être une montre, une montre de poche, une montre pendentif, une pendule, ou encore une horloge de table, par exemple. Selon un mode de réalisation préféré, la pièce d'horlogerie selon l'invention est une montre-bracelet.

**[0026]** La pièce d'horlogerie selon l'invention peut être entièrement mécanique et/ou peut comporter un mouvement entièrement mécanique. De préférence, un mouvement entièrement mécanique peut fonctionner en absence de tout circuit électronique, en particulier en l'absence d'une source d'énergie électrique, telle qu'une pile ou une cellule photovoltaïque, par exemple. La présente invention permet également de réaliser une pièce d'horlogerie qui fonctionne sur la base d'interactions mécaniques entre l'ensemble des pièces et qui exclut des interactions magnétiques. Dans un mouvement entièrement mécanique, les impulsions pour induire et maintenir l'oscillateur en oscillation sont effectuées par une pièce qui agit par contact physique direct sur le diapason ou sur une pièce solidaire du diapason. Par exemple, la présente invention peut constituer une amélioration des solutions proposées dans des documents brevets EP 2 466 401 ou encore US 3,208,287, qui divulguent un résonateur dans lequel l'oscillateur et la roue d'échappement portent des aimants, par exemple des aimants permanents, de façon à constituer un mécanisme de régulation et d'échappement sur la base d'interactions magnétiques.

**[0027]** Selon un mode de réalisation, le mouvement de l'invention comprend un organe d'impulsion mécanique qui est relié et/ou alimenté par une source d'énergie mécanique. La source d'énergie mécanique peut être la même comme dans une montre mécanique classique, par exemple, l'énergie peut provenir d'un ressort de barillet qui peut être remonté manuellement ou automatiquement, par exemple.

**[0028]** Alors que la présente invention permet le fonctionnement d'un mouvement pour pièce d'horlogerie entièrement mécanique, l'homme du métier saura appli-

quer les solutions techniques divulguées dans le présent descriptif dans le cas d'une montre électronique ou encore dans une montre mécanique utilisant des interactions magnétiques.

**[0029]** En effet, la présente invention permet, pour la première fois, de réaliser un mouvement de pièce d'horlogerie entièrement mécanique avec un oscillateur du type diapason. Cependant, la solution proposée est applicable à toute base de temps sur la base d'un résonateur ou oscillateur du type diapason.

**[0030]** La **figure 1** montre la forme générale d'un diapason horloger. Le diapason 1 comporte les deux lames ou branches 3 et 4, reliées par la base 5 de façon à constituer la forme générale d'un U. Les deux lames 2 et 3 sont de préférence disposées en parallèle dans un seul plan. Les deux lames 3 et 4 ont de préférence la même longueur. Du côté opposé à la base 5, les extrémités des lames 3 et 4 sont libres. Elles portent de préférence chacune une masse 8, 9, respectivement, qui sert à diminuer la fréquence des oscillations du diapason 1. Le diapason comporte une tige 6 par laquelle la base 5 est reliée à un organe de fixation 7. Une extrémité de la tige 6 est donc connectée à la base 5 alors que l'autre extrémité est connectée à la fixation 7.

**[0031]** Dans le cas d'une montre, la fixation 7 est de préférence rendue solidaire du mouvement de la montre. Par exemple, la fixation 7 est connectée, par exemple par vissage, à la platine ou à un pont. Dans le cas où la pièce d'horlogerie n'est pas une montre, ou dans le cas où l'oscillateur de l'invention, n'est pas associé à une pièce d'horlogerie, la fixation 7 peut être attachée à un support quelconque.

**[0032]** Pour minimiser l'encombrement, la tige 6 est située de préférence au-dessus la base 5. Elle pourrait également se trouver au-dessous de la base 5, comme montré aux figures 2A et 2B ce qui ne change rien au comportement du diapason.

**[0033]** L'intérêt du diapason est principalement dû au fait que son facteur de qualité Q est beaucoup plus élevé que celui d'une lame vibrante simple. Sans vouloir être lié par la théorie, le facteur de qualité Q élevé du diapason comparé à celui d'une lame vibrante simple est en rapport à la configuration en U et les modes d'oscillations qui en résultent. P. Ong, "Little known facts about the common tuning fork", Phys. Educ. 37 (2002), 540-542.

**[0034]** Dans le but d'augmenter davantage le facteur de qualité Q de l'oscillateur, ce dernier comprend ou est de préférence constitué d'un matériau ayant un frottement interne faible ou très faible. Un modèle sophistiqué de l'explication du facteur de qualité prend en compte le frottement interne visqueux des branches et de la base du diapason, comme décrit par Andres Castellanos-Gomez, Nicolas Agrait, Gabino Rubio-Bollinger, "Force-gradient-induced mechanical dissipation of quartz tuning fork force sensors used in atomic force microscopy", Ultramicroscopy (2011) 111 (3), 186-190.

**[0035]** Des matériaux qui remplissent le critère d'un frottement interne faible sont, par exemple, le silicium

monocristallin ou le quartz. Bien entendu, d'autres matériaux ayant des frottements internes comparables et/ou du même ordre de grandeur peuvent également être utilisés. De manière générale, d'autres matériaux monocristallins peuvent être utilisés dans la fabrication de l'oscillateur 1 selon l'invention.

**[0036]** Il convient de préciser que l'oscillateur 1 dans son ensemble peut comporter ou être fabriqué de plusieurs matériaux. Par exemple, les masses 8 et 9 sont typiquement en or ou en un autre matériau dense, par exemple en un autre métal précieux lourd. Les masses 8 et 9 permettent de réduire la fréquence de l'oscillateur si tel est souhaité, ce qui peut être le cas dans une pièce d'horlogerie mécanique. La présente invention couvre également la possibilité que les masses 8 et 9 soient nulles ou absentes. D'autre part, les masses 8, 9 peuvent être placées ou orientées d'une autre manière que montré à la figure 1, comme divulgué, par exemple, dans le brevet américain US 3,447,311. Les masses 8, 9 peuvent être réalisées sous forme de couches déposées sur les lames 3 et 4 et/ou peuvent être connectées proches ou dans la région des extrémités et être orientées comme montré dans US 3,447,311, par exemple.

**[0037]** D'autre part, les lames 3, 4 peuvent être formées de plusieurs matériaux ayant un frottement interne faible, comme sera décrit plus loin ci-dessous. Ensuite, la tige 6 et/ou la fixation 7 comporte de préférence un matériau au frottement interne plus élevé, comme sera décrit plus loin.

**[0038]** Cependant, il est préférable que l'oscillateur comporte un ensemble 2 formé au moins des lames 3 et 4 et de la base 5. Cet ensemble 2 comporte de préférence une entité formée d'un seul matériau continu. Ceci ne doit pas empêcher la présence d'autres matériaux, comme décrit dans ce descriptif. Selon la présente invention, l'oscillateur 1 comporte un ensemble 2 formé d'un matériau A caractérisé par un frottement interne faible. Par exemple, le matériau A est choisi parmi les matériaux à frottement interne faible décrits ci-dessus, comme par exemple le silicium monocristallin ou le quartz, ou des matériaux monocristallins en général. Selon un mode de réalisation, ledit oscillateur 1, ou au moins ledit ensemble 2, comprend ou est formé de silicium monocristallin et/ou de quartz.

**[0039]** Selon un mode de réalisation, la tige 6 comporte et/ou est formé du même matériau A. Selon ce mode de réalisation, la tige 6 fait partie de l'ensemble 2. Selon un autre mode de réalisation, la tige 6 comporte et/ou est formé d'un autre matériau.

**[0040]** Comme l'ensemble 2 comprend ou est formé de préférence d'un ou plusieurs matériaux à frottement interne faible (matériaux A et éventuellement matériau A' décrit plus loin ci-dessous), le facteur de qualité Q de l'oscillateur est plus élevé que dans le cas d'un oscillateur en métal, par exemple. Cette augmentation du facteur de qualité Q s'applique également à des modes d'oscillation que l'on peut désigner comme non-souhaités dans un oscillateur servant comme base de temps.

**[0041]** Les figures 2 A et 2 B illustrent deux modes d'oscillations d'un diapason 1 suite à une impulsion. Les lignes pointillées et continues montrent, respectivement, les deux positions de l'amplitude crête-à-crête de l'oscillateur, c'est à dire les deux positions qui définissent l'écart maximal par rapport à la position de repos où les lames 3 et 4 sont parallèles.

**[0042]** Dans le mode d'oscillation montré à la figure 2A, les lames 3 et 4 se rapprochent et s'éloignent l'une par rapport à l'autre lors des oscillations. La ligne continue montre le moment et la position de l'oscillation où les extrémités des deux lames sont rapprochées et la ligne pointillée montre la position où les deux lames sont écartées l'une par rapport à l'autre. C'est le mode d'oscillation antisymétrique qui est caractérisé par un facteur de qualité très élevé est qui représente le mode d'oscillation que l'on souhaite obtenir dans une base de temps à diapason.

**[0043]** En revanche, dans le mode d'oscillation montré à la figure 2B, les lames 3, 4 bougent en phase, c'est-à-dire oscillent parallèlement et simultanément d'un côté à l'autre dans le même plan. L'oscillation illustrée à la figure 2B et celle du mode d'oscillation symétrique.

**[0044]** Les deux modes d'oscillation, antisymétriques et symétriques, respectivement, sont également illustrés dans le brevet américain US 3,208,287, dans lequel le mode symétrique non-souhaité (figure 2 A) est considéré comme "oscillation anormale".

**[0045]** Dans les deux cas des figures 2A et 2B, les oscillations ont lieu dans le plan de l'oscillateur lui-même, c'est-à-dire dans le plan qui correspond à celui sur lequel le dessin des figures 2 A et 2 B est représenté. Les autres modes d'oscillation qui pourraient exister n'ont pas la même implication dans le contexte de la présente invention.

**[0046]** Il convient d'ajouter que les problèmes liés au mode d'oscillation symétrique se posent avant tout dans le cas où l'oscillateur est réalisé en un matériau à faible frottement interne, comme le quartz ou le silicium monocristallin, par exemple. En effet, le mode d'oscillation symétrique (figure 2 B) n'est pas observé dans les diapasons métalliques, par exemple. En d'autres termes, le choix du matériau à faible frottement interne, par exemple le matériau A, rend ledit oscillateur susceptible d'osciller non seulement dans le mode antisymétrique souhaité, mais également dans le mode symétrique non-souhaité.

**[0047]** En général, le mode d'oscillation symétrique est favorisé par une excitation mécanique en raison d'un facteur de qualité légèrement plus faible, donc plus facile à "trouver". Ce dernier point s'applique en particulier à l'impulsion sur une seule des deux lames, que cette impulsion soit mécanique ou autre.

**[0048]** Une différence entre les deux modes d'oscillations antisymétriques et symétriques illustrés aux figures 2A et 2B concerne la tige 6. Comme on peut le comprendre en comparant les lignes pointillées et continues de la tige 6 à la figure 2B, le mode symétrique induit une oscillation transversale de la tige 6, qui correspond à l'os-

cillation d'une lame vibrante simple. Cette oscillation transversale a généralement lieu dans le plan défini par les deux lames 3, 4. En revanche, dans le cas de l'oscillation antisymétrique (figure 2 A), la tige 6 effectue des oscillations longitudinales et/ou axiales, le long de l'axe de la tige 6.

**[0049]** Dans le cas des montres à quartz électriques, les oscillations symétriques (figure 2 B) sont généralement évitées par l'excitation simultanée des deux lames 3 et 4, exploitant les propriétés piézoélectriques du quartz. L'impulsion simultanée (en même temps) des deux lames 3, 4 est illustrée par les deux flèches 10 à direction opposées dans la figure 1. Généralement, dans une montre électronique, des électrodes sont placées sur ou à proximités des lames pour pouvoir induire une l'oscillation antisymétriques. En général, des méthodes électroniques ou des algorithmes sont mis en place pour empêcher une oscillation symétrique dans les montres électroniques.

**[0050]** Une impulsion simultanée des deux branches est également divulguée dans le document US 3,208,287. Enfin, dans la montre Accutron mentionnée ci-dessus, l'impulsion du diapason métallique a également lieu sur les deux lames simultanément.

**[0051]** Un objectif de la présente invention est de mettre en oeuvre des solutions alternatives pour empêcher le mode d'oscillation symétrique d'un oscillateur du type diapason, de préférence dans un résonateur utilisé comme base de temps.

**[0052]** Il est en particulier un objectif de la présente invention de mettre en oeuvre un oscillateur du type diapason qui peut être induit en oscillations antisymétriques suite à une impulsion sur une seule lame, donc en l'absence d'une impulsion simultanée sur les deux lames.

**[0053]** Une impulsion sur l'une seule des deux lames d'un diapason représente la solution préférée dans le cas d'un résonateur mécanique, c'est-à-dire des bases de temps dans lesquels les oscillations du diapason sont induites et entretenues mécaniquement, sans utilisation d'électricité, électronique ou piézoélectricité. Selon un mode de réalisation préféré d'un mouvement mécanique et/ou d'une pièce d'horlogerie mécanique de l'invention, les oscillations sont induites et entretenues sans utilisation de magnétisme.

**[0054]** Dans un mode de réalisation préféré, le mouvement de l'invention et/ou la pièce d'horlogerie de l'invention comporte un organe ou un mécanisme d'impulsion mécanique susceptible d'agir sur l'une des deux lames d'un diapason de façon à l'induire et le maintenir en oscillation. Un tel organe ou mécanisme est divulgué, par exemple, dans la demande internationale WO2013/045573, déposée le 27 septembre 2012 au nom d'ASGALIUM UNITEC SA sous le numéro de dépôt PCT/EP2012/069122. Le contenu de cette demande de brevet est explicitement incorporé par référence.

**[0055]** La demande WO2013/045573 divulgue un résonateur mécanique à diapason pour mouvement horloger mécanique à échappement libre. Une lame de ce

diapason porte au moins une première cheville associée à au moins une première dent de fourchette d'une ancre, pour faire pivoter ladite fourchette entre des première et seconde positions angulaires et alternativement verrouiller et libérer une roue d'échappement. Le résonateur comporte un organe de conversion solidaire de la cheville, agencé pour, d'une part, transformer les oscillations de la lame en des mouvements de rotation de l'ancre par la transmission d'impulsions de la lame à l'ancre, et d'autre part, transmettre de l'énergie mécanique depuis ladite ancre vers la lame de l'oscillateur sous la forme d'impulsions. Selon un mode de réalisation de l'organe d'impulsion mécanique et/ou de régulation, un support portant des chevilles est attaché à l'extrémité d'une des deux lames. Les chevilles coopèrent avec des dents définissant une fourchette d'ancre. L'ancre comporte un bâti monté pivotant sur le mouvement ainsi qu'une paire de bras dont chacun porte une dent pour interagir avec les chevilles sur le support. L'ancre comporte ensuite une deuxième paire de bras supplémentaires, dont chacun porte une palette agencées pour coopérer avec une roue d'échappement. Le résonateur de la demande WO2013/045573 fonctionne de manière similaire à celui des résonateurs conventionnels grâce au fait que l'oscillateur porte deux chevilles au lieu d'une cheville unique ainsi que par la géométrie particulière de la fourchette d'ancre. Ainsi, l'ancre est destinée à pivoter entre une première position dans laquelle l'une des palettes verrouille la roue d'échappement en rotation et une seconde position dans laquelle l'autre palette verrouille la roue d'échappement. Lorsque l'ancre pivote entre l'une et l'autre position, la roue d'échappement est libérée pour tourner. Le pivotement de l'ancre est également utilisé pour donner une impulsion sur une des deux chevilles du support pour assurer l'entretien des oscillations de la lame et ainsi du diapason dans son ensemble. Dans un autre mode de réalisation, l'organe de conversion comprend une bascule et fonctionne selon le principe du bras de levier. Une extrémité libre de la bascule est montée pivotante sur l'extrémité libre d'une lame et l'autre extrémité est engagée entre les dents de la fourchette de l'ancre pour coopérer avec elle et faire pivoter l'ancre.

**[0056]** L'homme du métier comprendra que le dispositif divulgué dans la demande WO 2013/045573 sert à la fois à la distribution de l'énergie au diapason et à la régulation du temps sur la base des oscillations.

**[0057]** La demande WO2013/045573 divulgue ainsi un organe d'impulsion mécanique susceptible d'agir sur l'une des deux lames de façon à induire et maintenir ledit oscillateur en oscillation. Un organe d'impulsion mécanique est de préférence utilisé dans la pièce d'horlogerie selon la présente invention.

**[0058]** Selon un mode de réalisation préféré, le facteur de qualité  $Q_2$  du mode d'oscillation symétrique de l'oscillateur de l'invention est réduit activement et de manière ciblée par rapport au facteur de qualité  $Q_1$  du mode d'oscillation antisymétrique. Selon ce mode de réalisation, la présente invention vise à diminuer le facteur de qualité

des oscillations symétriques pour ainsi favoriser l'oscillation en mode antisymétrique souhaité. Ceci implique, en effet, que chaque mode d'oscillation a non seulement sa propre fréquence, mais également son propre facteur de qualité. Dans le contexte de la présente description,  $Q_2$  représente le facteur de qualité du mode d'oscillation symétrique non-souhaité, alors que  $Q_1$  représente le facteur de qualité du mode d'oscillation antisymétrique souhaité. En général, le facteur de qualité est défini par la formule  $Q = 2\pi \times (\text{énergie stockée}/\text{énergie perdue à chaque période})$ .

**[0059]** Selon les modes préférés de l'invention, le facteur de qualité  $Q_2$  est réduit de manière ciblée par la construction du diapason et en particulier par le choix des matériaux utilisés dans la construction du diapason. De préférence, le facteur de qualité  $Q_2$  est réduit par la géométrie du diapason et/ou le choix de la position de différents matériaux ayant des caractéristiques différentes.

**[0060]** Selon un mode de réalisation préféré, l'oscillateur de l'invention comprend au moins un deuxième matériau qui permet de réduire le facteur de qualité  $Q_2$  du mode d'oscillation symétrique. Ce deuxième matériau est généralement désigné comme matériau B dans le présent descriptif. Le matériau B est de préférence choisi parmi les matériaux ayant un frottement plus élevé que le matériau A. De préférence, le matériau B est un matériau ayant un frottement interne plus élevé que celui du quartz et/ou du silicium monocristallin, par exemple. Selon un mode de réalisation, le matériau B est choisi parmi les métaux, les alliages, les matériaux polycristallins, les matériaux amorphes, par exemple.

**[0061]** Le frottement interne d'un matériau est associé à la capacité d'un matériau solide de convertir son énergie de vibration mécanique en une énergie interne. Cette dégradation ou perte d'énergie inévitable se manifeste de plusieurs manières, par exemple par une transformation de l'énergie de vibration en chaleur. Le facteur de qualité d'un oscillateur et le frottement interne du matériau dépendent l'un de l'autre, comme cela a été décrit dans la publication de Clarence Zener, "Internal Friction in Solids," *Proceedings of the Physical Society* 52 (1940), pp. 152-166, et également dans la publication plus récente de Hsi-Ping Liu and Louis Peselnick, "Internal Friction in Fused Quartz, Steel, Plexiglass, and Westerley Granite From 0.01 to 1.00 Hertz at  $10^{-8}$  to  $10^{-7}$  Strain Amplitude", *Journal of Geophysical Research* 88 (March 10, 1983), pp. 2367-2379. Dans ces publications, l'inverse du facteur de qualité  $Q$  (c'est-à-dire  $1/Q$ ) est utilisé comme mesure du frottement interne.

**[0062]** Dans le contexte de la présente invention, l'inverse du facteur de qualité  $1/Q$  est de préférence utilisé pour déterminer si un matériau donné est caractérisé par un frottement interne faible ou élevé. Le facteur de qualité  $Q$  d'un matériau peut être déterminé par l'homme du métier, comme décrit dans de nombreuses publications datant des dernières 50 années, voir les références de la publication Ilan Vardi, « Le facteur de qualité en horlo-

gerie mécanique », *Bulletin de la Société Suisse de Chronométrie* 75 (2014), pp. 53-61.

**[0063]** Selon une méthode préférée, le facteur de qualité  $Q$  d'un matériau peut être déterminé sur la base d'une lame vibrante simple qui est induite en vibration libre.

**[0064]** Dans la présente description, de manière cohérente avec les articles cités ci-dessus, le frottement interne d'un matériau A peut être représenté par  $1/Q_A$ , et le frottement interne d'un matériau B peut être représenté par  $1/Q_B$ .

**[0065]** Selon un mode de réalisation, un matériau A ayant un frottement interne faible est un matériau dont la valeur  $1/Q$  ( $1/Q_A$ ) est  $< 0.02$ , de préférence  $< 0.01$ . Selon un mode de réalisation préféré, un matériau ayant un frottement interne faible est un matériau dont la valeur  $1/Q$  ( $1/Q_A$ ) est  $< 0.001$ .

**[0066]** En termes de friction interne, le matériau A' remplit les mêmes conditions que le matériau A. Les valeurs de  $1/Q$  pour A' ( $1/Q_{A'}$ ) se trouvent donc dans les mêmes fourchettes que les valeurs  $1/Q$  pour A ( $1/Q_A$ ).

**[0067]** Selon un mode de réalisation, un matériau B ayant un frottement élevé ou plus élevé que le matériau A est un matériau dont la valeur  $1/Q$  ( $1/Q_B$ ) est  $\geq 0.02$ , de préférence  $\geq 0.05$ , par exemple  $\geq 0.1$  ou plus grand.

**[0068]** Selon un mode de réalisation préféré, les matériaux A et A' ont une friction interne ( $1/Q_A$ )  $\leq 0.01$  et le matériau B une friction interne ( $1/Q_B$ )  $> 0.02$ . De préférence,  $1/Q_A < 0.005$  et  $1/Q_B \geq 0.015$ .

**[0069]** Dans le contexte de la présente invention, les matériaux A et B sont généralement choisies de façon que  $1/Q_A < 1/Q_B$ . Le fait de définir les matériaux A et B l'une par rapport à l'autre permet d'ignorer les conditions particulières dans lesquelles le facteur de qualité  $Q$  respectif ( $Q_A$ ,  $Q_B$ ) a été mesuré pour déterminer la valeur de la friction interne du matériau, pour autant que les conditions sont les mêmes pour la détermination de  $Q_A$  et  $Q_B$  (par exemple  $25^\circ\text{C}$ , et deux tiges, une du matériau A et une du matériau B, ayant des dimensions identiques).

**[0070]** Selon un mode de réalisation préféré, ( $1/Q_A$ ) / ( $1/Q_B$ ) ( $= Q_B/Q_A$ ) est  $\leq 0.5$ , de préférence  $\leq 0.2$ . Selon un mode de réalisation préféré,  $Q_B/Q_A$  est  $\leq 0.1$ , de préférence  $\leq 0.02$ , ou même  $\leq 0.01$ .

**[0071]** Il convient encore de mentionner que la présente invention envisage l'ajustement du frottement interne d'un matériau ( $1/Q_A$  et/ou  $1/Q_B$ ) pour obtenir un matériau ayant les caractéristiques souhaitées. Par exemple, les matériaux A et B peuvent être des mélanges, par exemple des composites comportant plusieurs matières ou matériaux, choisi de façon à obtenir un matériau ayant un frottement interne conformément aux valeurs ou proportions préférées indiquées ci-dessus.

**[0072]** De manière surprenante, les inventeurs ont constaté qu'il est possible d'empêcher les oscillations symétriques par la configuration géométrique et/ou la position du matériau B dans le diapason. De préférence, le matériau B est en contact avec le matériau A de l'oscillateur.

**[0073]** Selon un mode de réalisation, le diapason de l'invention comporte un matériau B qui est agencé et/ou situé de façon à empêcher ou amortir les oscillations symétriques du diapason.

**[0074]** Selon un mode de réalisation de l'invention, la présence du matériau B permet d'amortir les oscillations transversales de la tige 6. Par conséquent, selon un mode de réalisation de l'invention, le matériau A est un premier matériau et ledit facteur de qualité  $Q_2$  est réduit par la présence d'un deuxième matériau B, ce matériau B étant en contact avec ledit matériau A de façon qu'une oscillation transversale de ladite tige 6 est amortie.

**[0075]** Selon un mode de réalisation, ledit facteur de qualité  $Q_2$  du mode d'oscillation symétrique dudit oscillateur est réduit de façon que  $Q_1 / Q_2$  est égal ou supérieur à 2. De préférence,  $Q_1 / Q_2$  est égal ou supérieur à 5, voire égal ou supérieur à 10, égal ou supérieur à 20, égal ou supérieur à 50, ou encore égal ou supérieur à 100, par exemple, égal ou supérieur à 200.

**[0076]** Selon un mode de réalisation du diapason selon l'invention, le facteur de qualité  $Q_1$  est au moins un ordre de grandeur plus élevé que le facteur de qualité  $Q_2$ . On entend par "ordre de grandeur" une différence d'environ un facteur de 10. De préférence, le facteur de qualité  $Q_1$  est d'au moins 1 à 3 ordres de grandeur plus élevé que le facteur de qualité  $Q_2$ .

**[0077]** L'homme du métier notera que, dans le contexte de la présente invention, le facteur de qualité  $Q$  est utilisé à la fois pour qualifier les deux modes d'oscillations, antisymétrique et symétrique, montrés dans les figures 2A et 2B ( $Q_1$  et  $Q_2$ ), et comme paramètre de la friction interne d'un matériau. Dans ce dernier cas, l'inverse du facteur de qualité ( $1/Q$ ) est utilisé. Il convient de mentionner que l'état de la technique décrit plusieurs paramètres qui représentent le frottement interne d'un matériau, tel que le facteur d'amortissement ou de perte  $\tan \delta$ , ou le module de perte  $G$ ". Cependant, dans le contexte de la présente invention, l'inverse du facteur de qualité  $Q$  est choisi, comme proposé par C. Zener (1940) et H.-P. Liu et al (1983), notamment parce que la mesure de ce paramètre est bien connue à l'homme du métier dans le domaine de l'horlogerie.

**[0078]** Le deuxième matériau ou matériau B peut être disposé dans la tige 6 du diapason. Selon un mode de réalisation de l'invention, ledit matériau A est un premier matériau et la tige 6 comprend ou est constituée d'un deuxième matériau B en contact avec ledit premier matériau.

**[0079]** Selon un mode de réalisation, la tige 6 est entièrement fabriquée du matériau B. Alternativement, la tige 6 comporte un tel matériau B ou plusieurs matériaux qui, dans l'ensemble, remplissent la caractéristique du frottement interne plus élevé. Il est considéré comme avantageux si le matériau B est en contact avec le matériau A. Par exemple, le matériau B est en contact avec la base 5 du diapason. Selon ce mode de réalisation, le matériau B se trouve de préférence au moins à l'interface du matériau A avec la tige 6.

**[0080]** Ce mode de réalisation est illustré par les figures 3A à 3C, dans lesquels la tige 6 est constituée d'un matériau B qui est différent du matériau A dont l'ensemble 2 est réalisé. L'ensemble 2 comporte en particulier les deux lames 3,4 et la base 5.

**[0081]** Les numéros de références des figures 3A à 3C ont les mêmes significations comme décrit ci-dessus pour la figure 1. La figure 3A montre le diapason en position de repos, alors que les figures 3B et 3C montrent les oscillations antisymétrique et symétriques, respectivement, suite à une impulsion donnée sur l'une des deux lames (ici sur la lame 3) au niveau de la flèche 11.

**[0082]** Dans le mode de réalisation illustré aux figures 3A à 3C, l'ensemble 2 est construit entièrement de matériaux du type A, donc à frottement interne faible, mais la tige 6 est composée d'un matériau ayant un frottement interne plus important (matériau B), par exemple, le métal utilisé pour le diapason horloger classique. Dans ce mode de réalisation, les oscillations antisymétriques de la figure 2A n'ont pas de perte par la tige, en raison de son mouvement transversal nul, tandis que les oscillations symétriques du diapason (figure 2B) sont amorties en raison de l'énergie perdue au niveau de l'attachement ou la connexion entre la tige 6 et la base 5, et entre la tige 7 et la fixation 7 du diapason, due aux contraintes  $S_1$  et  $S_2$ , voir la figure 3C. Le facteur de qualité ( $Q_2$ ) des oscillations symétriques serait donc comparable au facteur de qualité d'une lame vibrante simple encastrée à une extrémité faite de ce matériau B, donc très petite (par exemple  $< 10$ ).

**[0083]** La tige 6, fabriquée en matériau B ayant un frottement interne plus élevé que le matériau A dont est fabriqué l'ensemble 2, n'amortit pas et ne réduit pas le facteur de qualité ( $Q_1$ ) des oscillations antisymétriques illustrées à la figure 3B. Ceci s'applique également au cas où le diapason 1 est induit en oscillation par une impulsion sur une lame seulement, illustré par la flèche 11.

**[0084]** Il a été indiqué dans le brevet américain US 3,447,311 que la tige présente, de préférence, une certaine souplesse ou élasticité dans son ensemble, ce qui permet d'écarter ou éloigner la fréquence des oscillations symétriques de la fréquence des oscillations antisymétriques. Selon un mode de réalisation, la tige 6 est agencée de façon à retenir suffisamment de souplesse et/ou d'élasticité pour écarter les fréquences propres au mode antisymétrique et symétrique. Cet agencement peut être réalisé par la géométrie et/ou forme de la tige 6 et par le matériau dont elle est fabriquée. En variant la géométrie de la tige, par exemple, en diminuant sa largeur et/ou en augmentant sa longueur, on peut augmenter sa flexibilité et ainsi retenir l'élasticité requise. De préférence, la fréquence propre des oscillations symétriques et antisymétriques sont différentes et/ou éloignées. On entend par "fréquence propre" le concept de fréquence de résonance, où l'amplitude est maximale par rapport à la fréquence d'impulsion.

**[0085]** Par exemple, les fréquences propres des oscillations symétriques et antisymétriques sont éloignées



d'au moins 5 Hz, de préférence d'au moins 10 Hz, voire d'au moins 20 Hz, et même d'au moins 30 Hz.

**[0086]** Selon un mode de réalisation de l'invention, la tige 6 fait partie dudit ensemble 2 comportant les lames 3, 4 et la base 5 et comprend ou est constituée par ledit matériau A. Selon ce mode de réalisation, illustré aux figures 4A à 4C, la tige 6, la base 5 et les lames 3, 4 peuvent être fabriquées en une pièce, par exemple d'un matériau A continu, ou peuvent comporter un matériau A continu. Dans le cas d'un matériau monocristallin, la tige 6, la base 5 et les lames 3, 4 peuvent comporter ou être formé d'un seul cristal.

**[0087]** Comme montré à la figure 4A, la fixation 7 comprend ou est constituée d'un matériau ayant un frottement interne plus élevé que celui du matériau A. Dans ce cas, la tige 6 peut comporter ou non un matériau à frottement interne plus élevé (matériau B). Comme indiqué, les figures 4A à 4C montrent en particulier la possibilité où la tige comporte et/ou est fabriquée du même matériau A que la base 5 et les lames 3, 4, et la fixation 7, illustrée par une carré foncé, est formée du matériau B. Bien entendu, la présente invention n'exclut pas la possibilité que la tige comprend un autre matériau que le matériau A de la base 5 et des lames 3, 4, cet autre matériau ayant un frottement interne faible, comme le matériau A, ou un frottement interne plus élevé, comme le matériau B.

**[0088]** Selon un mode de réalisation de l'invention, ledit matériau A est un premier matériau et ledit organe de fixation 7 comprend un deuxième matériau B en contact avec ladite tige 6.

**[0089]** Dans le mode de réalisation montré aux figures 4A à 4C, l'amortissement des oscillations symétriques est introduit à la fixation 7, en remplaçant le matériau A de la fixation 7 par un matériau qui dissipe les oscillations de la tige 6. La tige 6 en matériau A est donc encastrée dans une base formée par la fixation 7 faite d'un matériau ayant un frottement interne important, comme le métal du diapason horloger, ou un autre matériau comme une résine (matériau B).

**[0090]** On peut aussi imaginer que la tige 6 en matériau A est collée à la fixation 7 par une colle qui pourrait servir d'amortissement, donc une perte d'énergie dans le mode symétrique, et une réduction du facteur de qualité du mode symétrique. La colle comporte et/ou constitue alors le matériau B. Dans ce cas, la fixation 7 pourrait également être fabriqué d'un matériau choisi parmi les matériaux du type A. Les oscillations antisymétriques ne sont pas amorties par la fixation, puisqu'il n'y a pas d'oscillations transversales de la tige 6 dans l'encastrement dissipatif 7, voir la figure 4B. En revanche, les oscillations symétriques sont amorties puisque les oscillations de la tige 6 sont amorties en raison sa fixation dans le matériau dissipatif 7, ainsi qu'indiqué par les flèches D dans la figure 4C. Dans ce cas, la contrainte S1' entre la tige et la base du diapason ne dissipe pas plus d'énergie que dans le cas où le diapason et sa fixation sont entièrement en matériau A. La contrainte S1' ne contribue donc pas

à la réduction des oscillations symétriques.

**[0091]** Dans un mode de réalisation, ledit organe de fixation 7 fixe et/ou encastre ladite tige 6 de façon qu'une oscillation transversale de ladite tige est amortie. Cet encastrement de la tige 6 est bien illustré aux figures 4A à 4C, où le contact de la fixation 7 avec la tige 6 occasionne la dissipation d'énergie des oscillations.

**[0092]** Il convient d'ajouter que la dissipation d'énergie provenant de l'amortissement des oscillations symétriques comme illustré aux figures 3C et 4C peut conduire à un échauffement, c'est-à-dire, l'énergie des oscillations est transformée en chaleur. La perte d'énergie associée à un mode d'oscillation (ici le mode d'oscillation symétrique) explique la réduction du facteur de qualité de ce type d'oscillation. Selon la présente invention, le matériau B est positionné et/ou agencé de façon à occasionner particulièrement une perte d'énergie des oscillations symétriques pour réduire le facteur de qualité  $Q_2$ . De préférence, le matériau B est agencé de façon à amortir les oscillations transversales de la tige 6. Comme l'homme du métier comprendra, la présente invention cherche à exploiter la différence entre les oscillations antisymétriques de la figure 2A et les oscillations symétriques de la figure 2B, telle qu'elle se manifeste au niveau du mouvement de la tige 6. On notera également que le centre de gravité du diapason est presque immobile dans le cas antisymétrique mais effectue un mouvement sensible dans le cas symétrique.

**[0093]** Selon un mode de réalisation, lesdites lames 3, 4 du diapason 1 selon l'invention comprennent un matériau A', ledit matériau A' étant disposé sous forme de couche sur au moins une partie des deux lames. Selon un mode de réalisation, ledit matériau A' est caractérisé par un frottement interne faible similaire à celui du matériau A. De préférence, le frottement interne du matériau A' est du même ordre de grandeur que celui du matériau A.

**[0094]** Selon un mode de réalisation, le matériau A et le matériau A' se distinguent par rapport au signe (positif ou négatif) de leur coefficient de dilation thermique respectif. Par conséquent, le coefficient de dilatation thermique dudit matériau A' a un signe inverse par rapport au signe du coefficient thermique dudit matériau A. En d'autres termes, si le coefficient de dilation thermique du matériau A est positif, par exemple +0.5, celui du matériau A' est négatif, par exemple -1.0.

**[0095]** Un but du choix de deux matériaux, A et A' à faible frottement interne est d'annuler ou au moins compenser partiellement l'effet de la température sur la fréquence des oscillations. Généralement, la fréquence des oscillations baisse suite à une déviation de la température optimale (généralement 25°C) d'un diapason à cause de l'augmentation ou la diminution du volume du matériau dont le diapason est constitué. Comme le matériau A' a de préférence un coefficient de dilatation de signe inverse à celui du matériau A, la présence de A' réduit le changement du volume de l'ensemble A et A'.

**[0096]** La caractéristique du signe inverse n'implique

pas que les valeurs absolues des coefficients de dilatation thermiques des matériaux A et A' soient identiques (voir l'exemple des valeurs +0.5 et -1.0 donné ci-dessus). Pour cette raison, la quantité du matériau A' est de préférence choisie de façon à ce que un changement de volume de l'ensemble comportant au moins les lames 3, 4 et la base 5, et éventuellement la tige 6 est réduite au maximum, c'est-à-dire, la dilatation ou la diminution du volume sont essentiellement réduites ou absentes.

**[0097]** De préférence, le matériau A' est également un matériau à faible frottement interne. Ainsi, le matériau A' n'a de préférence pas d'effet significatif sur le facteur de qualité  $Q_1$ . L'homme du métier connaît les matériaux au coefficient de dilatation thermique négatif.

**[0098]** Le matériau A' est de préférence présent sur au moins les deux lames 3, 4. Le matériau A' peut également être présent sur la base 5. Si la tige 6 comprend ou est constituée du matériau A, (figures 4A à 4C), le matériau A' peut également être présent sur la tige. Il est entendu que la présente invention n'est pas limitée à la manière dont le matériau A' est associé au matériau A. Par exemple, le matériau A' peut être déposé sous forme de couche sur au moins une partie du matériau A ou l'inverse. L'homme du métier peut envisager d'autres manières d'associer le matériau A' au diapason selon l'invention. Ladite couche peut s'étendre sur l'ensemble d'une face des lames 3, 4 et de la base 5 et également sur la tige 6, ou peut-être présent sur une partie de l'ensemble 2 seulement. De préférence, le matériau A' est au moins associé avec et/ou connecté à une partie des lames 3, 4. De préférence, le matériau A' est disposé de manière équitable et/ou symétrique sur les deux lames 3, 4.

**[0099]** L'homme du métier ne rencontrera pas de difficulté particulière pour adapter le contenu de la présente divulgation à ses propres besoins et mettre en oeuvre un oscillateur différent de celui selon les modes de réalisation décrit ici, mais dans lequel le facteur de qualité des oscillations symétriques est réduit par rapport au facteur de qualité des oscillations antisymétriques, sans sortir du cadre de la présente invention. Par exemple, l'homme du métier saura utiliser l'oscillateur selon l'invention dans une pièce d'horlogerie qui n'est pas entièrement mécanique et/ou dans une pièce d'horlogerie électronique, ou encore dans une base de temps électronique quelconque. Par exemple, la présente invention peut être facilement implémentée dans une application qui nécessite une base de temps, tel qu'un ordinateur ou encore un téléphone portable. En particulier, le fait que la présente invention permet d'exciter et/ou de maintenir les impulsions antisymétriques malgré les impulsions (mécaniques ou autres) sur une seule des deux branches permet de faciliter la construction du diapason en général, aussi dans le cas d'un diapason induit en oscillation par moyens électroniques et/ou en utilisant l'effet piézoélectrique dans le cas du diapason en quartz, par exemple.

## Revendications

1. Une pièce d'horlogerie comportant un mouvement horloger mécanique comportant: un oscillateur du type diapason (1), ledit oscillateur comportant un ensemble (2) comportant deux lames (3, 4) et une base (5) reliant lesdites lames, ledit oscillateur (1) comportant une tige (6) liée à ladite base (5), l'oscillateur étant connecté par sa tige (6) à un organe de fixation (7) connecté au mouvement, ledit ensemble (2) comportant ou étant constitué d'un matériau A, ledit matériau A étant **caractérisé par** un frottement interne faible, ledit mouvement comportant un organe d'impulsion mécanique susceptible d'agir sur l'une des deux lames de façon à induire et maintenir ledit oscillateur en oscillation, ledit oscillateur étant susceptible d'osciller dans un mode antisymétrique souhaité ainsi que dans un mode symétrique non-souhaité, **caractérisé en ce que** le facteur de qualité  $Q_2$  du mode d'oscillation symétrique dudit oscillateur est réduit par rapport au facteur de qualité  $Q_1$  du mode d'oscillation antisymétrique.
2. La pièce d'horlogerie selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** ledit matériau A est un premier matériau et **en ce que** ledit facteur de qualité  $Q_2$  est réduit par la présence d'un deuxième matériau B, ce matériau B étant en contact avec ledit matériau A de façon qu'une oscillation transversale de ladite tige (6) est amortie.
3. La pièce d'horlogerie selon la revendication 2, dans laquelle ledit matériau B est **caractérisé par** un frottement interne plus élevé que celui dudit premier matériau.
4. La pièce d'horlogerie selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisée en ce que** ledit matériau A est un premier matériau et **en ce que** la tige (6) comprend ou est constituée d'un deuxième matériau B en contact avec ledit premier matériau.
5. La pièce d'horlogerie selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisée en ce que** la tige (6) fait partie dudit ensemble (2) comportant les lames (3, 4) et la base (5) et comprend ou est constituée par ledit matériau A.
6. La pièce d'horlogerie selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisée en ce que** ledit matériau A est un premier matériau et **en ce que** ledit organe de fixation (7) comprend un deuxième matériau B en contact avec ladite tige (6).
7. La pièce d'horlogerie selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisée en ce que** ledit organe de fixation (7) fixe et/ou encastre ladite tige (6) de façon qu'une oscillation transversale de ladite

tige est amortie.

pulsion mécanique est relié et/ou alimenté par une source d'énergie mécanique.

8. La pièce d'horlogerie selon l'une quelconque des revendications 2 à 7, **caractérisée en ce que** ledit deuxième matériau est choisi parmi les métaux, les alliages, les matériaux polycristallins, et/ou les matériaux amorphes. 5
9. La pièce d'horlogerie selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** ledit oscillateur (1), ou au moins ledit ensemble (2), comprend ou est formé de silicium monocristallin et/ou de quartz. 10
10. La pièce d'horlogerie selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** lesdites lames (3, 4) comprennent un matériau A', ledit matériau A' étant disposée en forme de couche sur au moins une partie des deux lames. 15  
20
11. La pièce d'horlogerie selon la revendication précédente, dans laquelle ledit matériau A' est **caractérisé par** un frottement interne faible similaire à celui du matériau A. 25
12. La pièce d'horlogerie selon la revendication 10 et/ou 11, dans laquelle le coefficient de dilatation thermique dudit matériau A' a un signe (+/-) inverse par rapport au signe du coefficient thermique dudit matériau A. 30
13. Un oscillateur du type diapason (1), ledit oscillateur comportant un ensemble (2) comportant deux lames (3, 4) et une base (5) reliant lesdites lames, ledit oscillateur (1) comportant une tige (6) liée à ladite base (5), l'oscillateur étant connecté par sa tige (6) à un organe de fixation (7) connecté à un support, ledit ensemble (2) étant formé d'un matériau A, **caractérisé par** un frottement interne faible, **caractérisé en ce que** ledit matériau A est un premier matériau et **en ce que** ledit oscillateur comporte un deuxième matériau B, ce matériau B étant en contact avec ledit matériau A de façon qu'une oscillation transversale de ladite tige (6) est amortie. 35  
40  
45
14. L'oscillateur selon la revendication 13, **caractérisé en ce que** ledit matériau B a un frottement interne ( $1/Q_B$ ) plus élevé que le frottement interne ( $1/Q_A$ ) du matériau A, de façon que  $Q_B/Q_A$  est  $\leq 0.1$ . 50
15. Un mouvement horloger comportant l'oscillateur de la revendication précédente, ledit mouvement comportant un organe d'impulsion mécanique susceptible d'agir sur l'une des deux lames de façon à induire et de maintenir ledit oscillateur en oscillation. 55
16. Le mouvement horloger selon la revendication précédente **caractérisé en ce que** ledit organe d'im-

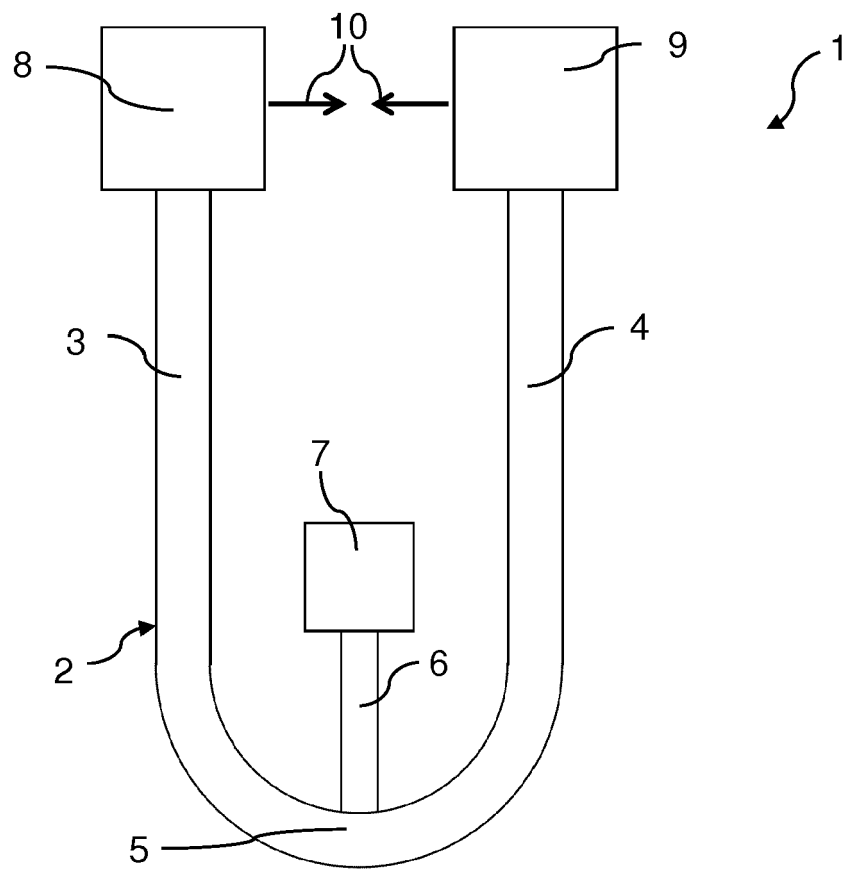
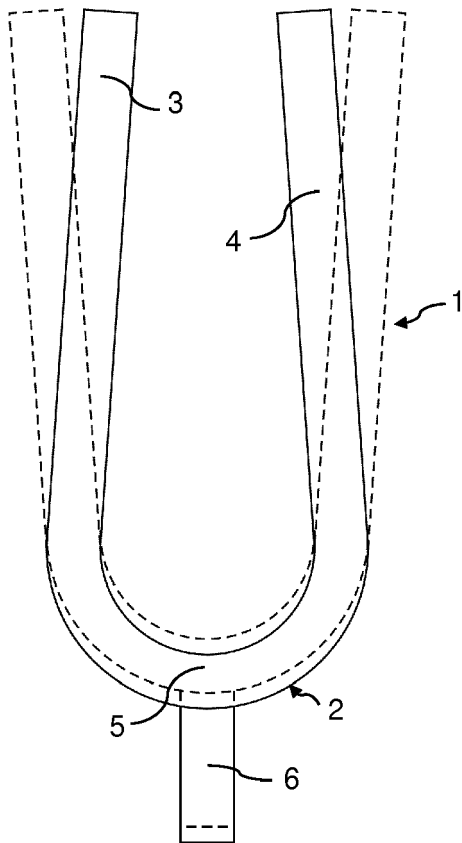
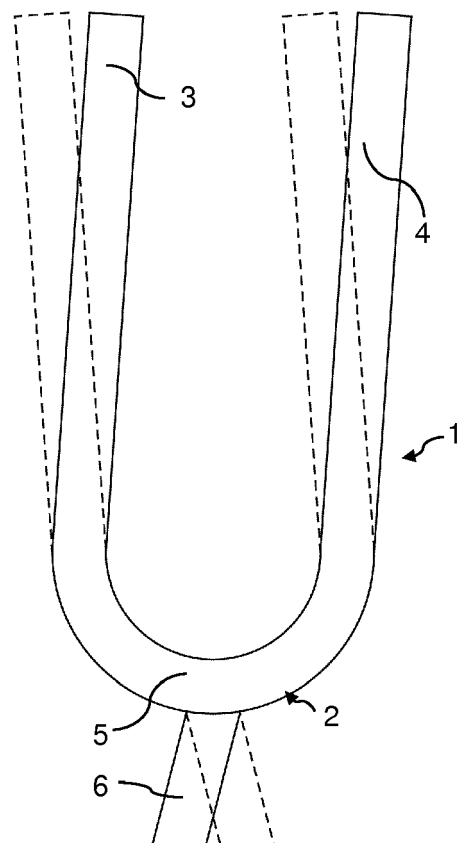


Figure 1



**Figure 2 A**



**Figure 2 B**

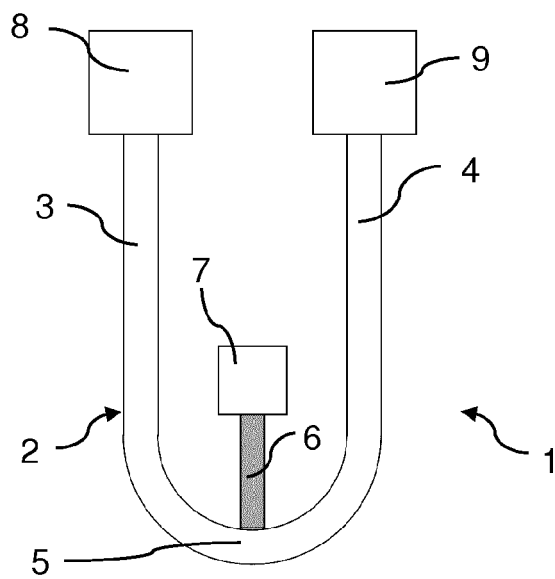


Figure 3 A

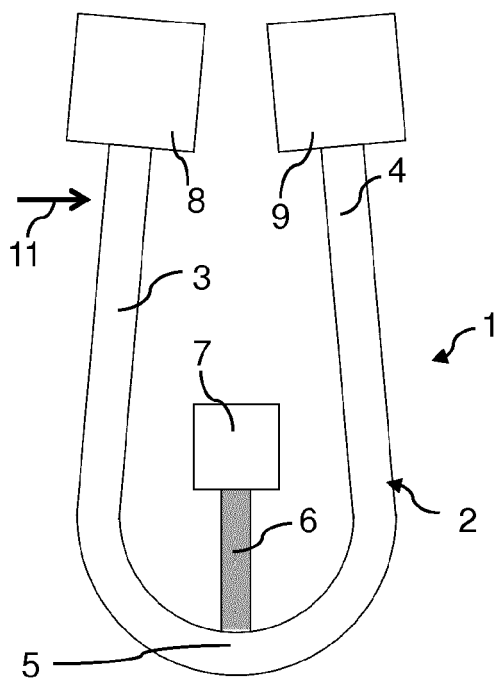


Figure 3 B

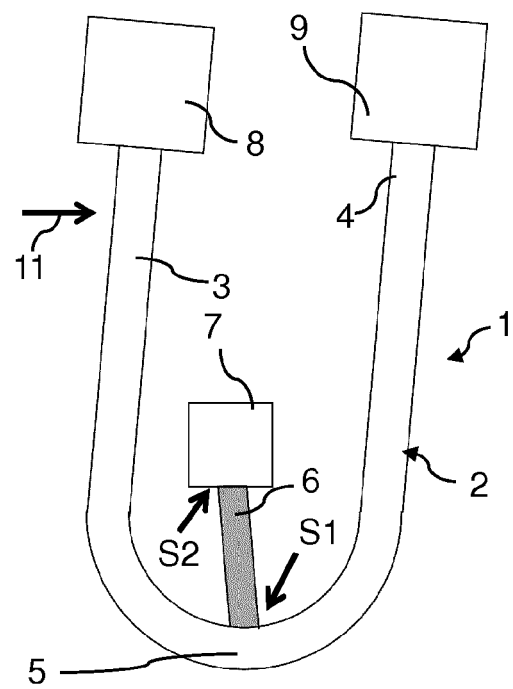


Figure 3 C

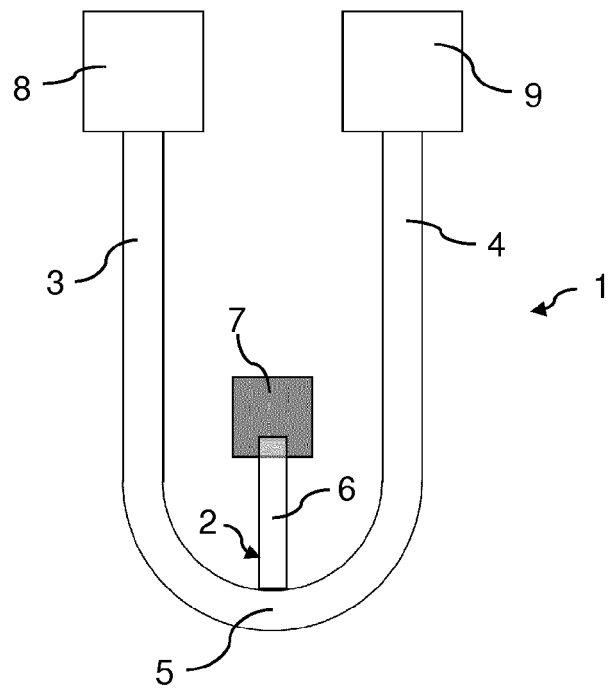


Figure 4 A

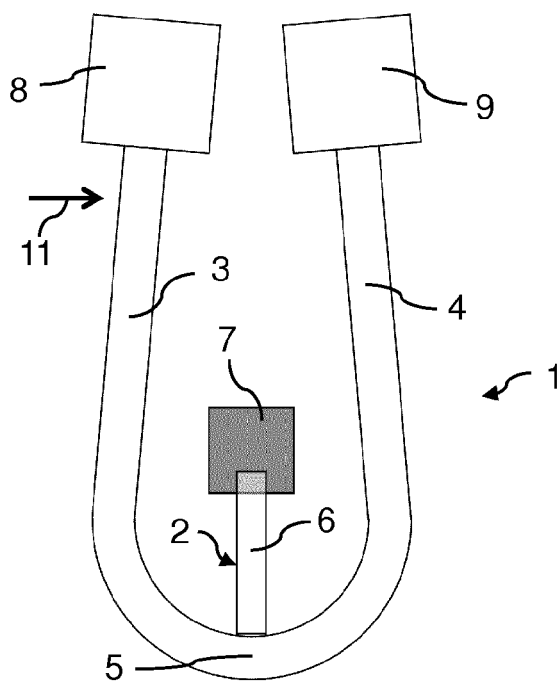


Figure 4 B

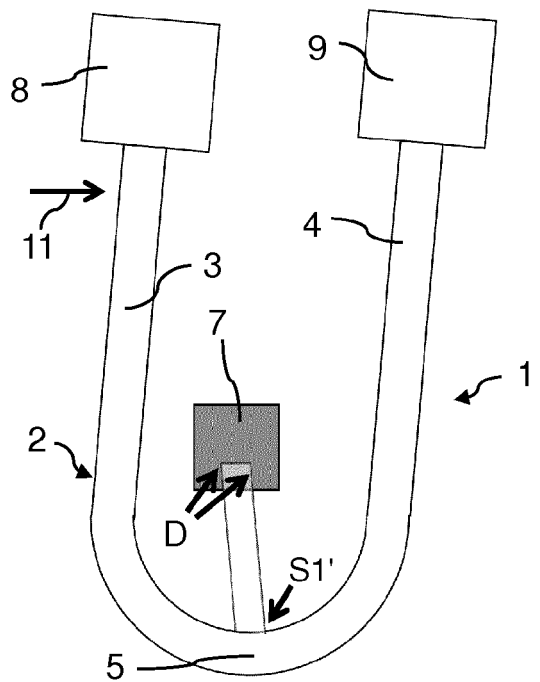


Figure 4 C



## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 14 16 7078

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X A	FR 2 106 507 A1 (SUWA SEIKOSHA KK SUWA SEIKOSHA KK [JP]) 5 mai 1972 (1972-05-05) * page 2; figure 1 *	1-7,13 8-12, 14-16	INV. G04B17/20 G04B17/22 G04B17/04
X A	FR 1 421 123 A (CENTRE ELECTRON HORLOGER) 10 décembre 1965 (1965-12-10) * page 2 *	1 2-16	
A	CH 435 122 A (LONGINES MONTRES COMP D [CH]) 15 décembre 1966 (1966-12-15) * le document en entier *	1-16	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			G04B
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche <b>La Haye</b>		Date d'achèvement de la recherche <b>22 janvier 2015</b>	Examineur <b>Musiellak, Marion</b>
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)



**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 14 16 7078

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.  
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

22-01-2015

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2106507	A1	05-05-1972	DE	2145895 A1	16-03-1972
			FR	2106507 A1	05-05-1972
			GB	1365543 A	04-09-1974
			GB	1366853 A	11-09-1974
			US	3736743 A	05-06-1973
-----					
FR 1421123	A	10-12-1965	AT	252823 B	10-03-1967
			BE	658495 A	17-05-1965
			CH	58264 A4	15-09-1965
			CH	406984 A	15-09-1965
			FR	1421123 A	10-12-1965
			GB	1067148 A	03-05-1967
			NL	6500662 A	21-07-1965
			SE	319729 B	19-01-1970
			US	3269106 A	30-08-1966
-----					
CH 435122	A	15-12-1966	CH	333565 A4	15-12-1966
			CH	435122 A	15-12-1966
-----					

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

## RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

*Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.*

### Documents brevets cités dans la description

- US 2971323 A [0005]
- US 3208287 A [0007] [0008] [0026] [0044] [0050]
- EP 2466401 A [0009] [0026]
- US 3447311 A [0036] [0084]
- WO 2013045573 A [0054] [0055] [0056] [0057]
- EP 2012069122 W [0054]

### Littérature non-brevet citée dans la description

- **P. ONG.** Little known facts about the common tuning fork. *Phys. Educ.*, 2002, vol. 37, 540-542 [0033]
- **ANDRES CASTELLANOS-GOMEZ ; NICOLAS AGRAIT ; GABINO RUBIO-BOLLINGER.** Force-gradient-induced mechanical dissipation of quartz tuning fork force sensors used in atomic force microscopy. *Ultramicroscopy*, 2011, vol. 111 (3), 186-190 [0034]
- **CLARENCE ZENER.** Internal Friction in Solids. *Proceedings of the Physical Society*, 1940, vol. 52, 152-166 [0061]
- **HSI-PING LIU ; LOUIS PESELNICK.** Internal Friction in Fused Quartz, Steel, Plexiglass, and Westerley Granite From 0.01 to 1.00 Hertz at 10<sup>-8</sup> to 10<sup>-7</sup> Strain Amplitude. *Journal of Geophysical Research*, 10 Mars 1983, vol. 88, 2367-2379 [0061]
- **ILAN VARDI.** Le facteur de qualité en horlogerie mécanique. *Bulletin de la Société Suisse de Chronométrie*, 2014, vol. 75, 53-61 [0062]