



Europäisches  
Patentamt  
European  
Patent Office  
Office européen  
des brevets



(11)

EP 2 908 184 A1

(12)

## DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:  
19.08.2015 Bulletin 2015/34

(51) Int Cl.:  
**G04B 17/26 (2006.01)**

(21) Numéro de dépôt: 14155425.3

(22) Date de dépôt: 17.02.2014

(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**

(71) Demandeur: **The Swatch Group Research and Development Ltd.**  
2074 Marin (CH)

(72) Inventeurs:  
• **Hessler, Thierry**  
2024 St-Aubin (CH)

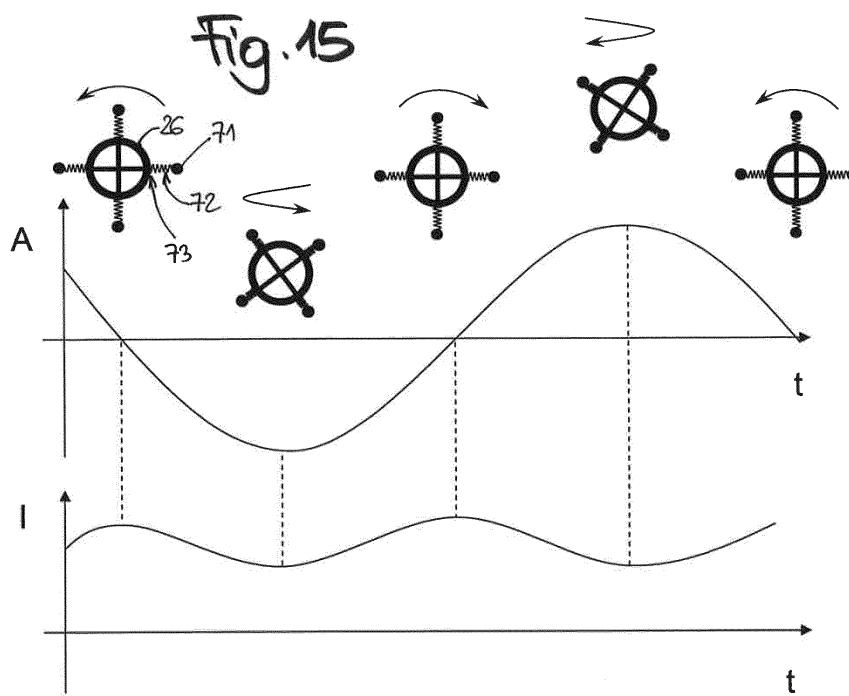
- Sarchi, Davide**  
1020 Renens (CH)
- Stranczl, Marc**  
1260 Nyon (CH)

(74) Mandataire: **Giraud, Eric et al**  
ICB  
Ingénieurs Conseils en Brevets SA  
Faubourg de l'Hôpital 3  
2001 Neuchâtel (CH)

### (54) Procédé d'entretien et de régulation d'un résonateur d'horlogerie

(57) Procédé d'entretien et de régulation d'un mécanisme résonateur (1) d'horlogerie autour de sa fréquence propre ( $\omega_0$ ), caractérisé en ce qu'on met en oeuvre au moins un dispositif régulateur (2) agissant sur ledit mécanisme résonateur (1) avec un mouvement périodique. Ledit mouvement périodique impose une modulation

périodique de la fréquence de résonance et/ou du facteur de qualité et/ou du point de repos dudit mécanisme résonateur (1), avec une fréquence de régulation ( $\omega_R$ ) qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de ladite fréquence propre ( $\omega_0$ ), ledit entier étant supérieur ou égal à 2.



**Description**Domaine de l'invention

**[0001]** L'invention concerne un procédé d'entretien et de régulation d'un mécanisme résonateur d'horlogerie autour de sa fréquence propre. 5

**[0002]** L'invention concerne le domaine des bases de temps en horlogerie mécanique. 10

Arrière-plan de l'invention

**[0003]** La recherche de l'amélioration de performances des bases de temps horlogères est une préoccupation constante. 15

**[0004]** Une limitation importante à la performance chronométrique des montres mécaniques réside dans l'utilisation des échappements impulsionnels conventionnels, et aucune solution d'échappement n'a jamais pu éviter ce type de perturbation. 20

Résumé de l'invention

**[0005]** L'invention se propose de fabriquer une base de temps la plus précise possible. 25

**[0006]** A cet effet, l'invention concerne un procédé d'entretien et de régulation d'un mécanisme résonateur d'horlogerie autour de sa fréquence propre, caractérisé en ce qu'on met en oeuvre au moins un dispositif régulateur agissant sur ledit mécanisme résonateur avec un mouvement périodique, caractérisé en ce que ledit mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance et/ou du facteur de qualité et/ou du point de repos dudit mécanisme résonateur, avec une fréquence de régulation qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de ladite fréquence propre, ledit entier étant supérieur ou égal à 2. 30

Description sommaire des dessins

**[0007]** D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre, en référence aux dessins annexés, schématisant de façon partielle des oscillateurs paramétriques correspondant à différents modes et variantes de mise en oeuvre de l'invention, et où :

- la figure 1 représente, de façon schématisée, partielle et en plan, un mécanisme résonateur paramétrique réglé selon l'invention, comportant un balancier-spiral d'horlogerie, constituant un résonateur, et dont l'inertie et/ou le facteur de qualité est modulé par des masses disposées radialement ou tangentielle par l'intermédiaire de ressorts et excitées à une fréquence double de la fréquence du résonateur à balancier-spiral incorporant ce balancier, dont le spiral n'est pas représenté ; ce balancier porte sur sa serge des éléments vibrant radialement ou tan-

gentiellement lors du mouvement de pivotement du balancier ; 50

- la figure 2 représente, de façon schématisée, partielle et en plan, un balancier comportant quatre ressorts radiaux liés à la serge et porteur de masses, et soumis à une excitation de régulation à une fréquence double de la fréquence du résonateur à balancier-spiral incorporant ce balancier, dont le spiral n'est pas représenté ;
- la figure 3 représente, de façon schématisée, partielle et en plan, un balancier porteur de balanciers-spiraux embarqués présentant chacun un fort balourd, montés libres ;
- la figure 4 représente, de façon schématisée, partielle et en plan, un balancier suspendu par deux ressorts radiaux diamétralement opposés, la trajectoire du centre de gravité du balancier correspondant à la direction commune de ces deux ressorts ;
- les figures 5A, 5B, 5C représentent, de façon schématisée, partielle et en plan, un balancier portant sur sa serge des éléments qui pivotent lors du mouvement de pivotement du balancier ;
- la figure 6 représente, de façon schématisée, partielle et en plan, un balancier au voisinage duquel un patin faisant frein aérodynamique est mobile à une fréquence double de celle du résonateur à balancier-spiral incorporant ce balancier, dont le spiral n'est pas représenté ;
- la figure 7 représente un balancier similaire à celui de la figure 3, avec deux balanciers-spiraux à fort balourd, montés libres sur un même diamètre et dans une position d'alignement des balourds, différents (au point de repos) de ceux de la figure 3, et soit en phase, soit en alternance anti-phase ;
- la figure 8 représente, de façon schématisée, partielle et en plan, un diapason dont un bras est en contact avec un patin frottant excité à une fréquence double de la fréquence du résonateur à diapason ;
- la figure 9 illustre un mécanisme résonateur comportant un balancier comportant une virole maintenant un fil de torsion, dont un dispositif régulateur commande une variation périodique de la tension avec une fréquence double de celle du résonateur à balancier et fil de torsion ;
- la figure 10 représente, de façon schématisée, un mécanisme résonateur paramétrique réglé selon l'invention, comportant un balancier-spiral d'horlogerie, dont la spire externe du spiral est fixée à un piton auquel un dispositif régulateur impose un mouvement périodique, ce piton étant mobile en translation, pivotement, et en inclinaison dans l'espace pour vriller le spiral si nécessaire ;
- la figure 11 représente, de façon schématisée, un spiral équipé d'un mécanisme de raquetterie à goupilles, avec un système bielle-manivelle pour actionner un déplacement continu de la raquette, pour une variation continue de la longueur active du spiral ;
- la figure 12 représente, de façon schématisée, un

- spiral sur lequel appuie une came, pour une variation continue de la longueur active du spiral et/ou de la position du point d'attache et/ou de la géométrie du spiral. Cette figure est une représentation simplifiée où une came unique appuie sur le spiral d'un côté seulement ; il est évidemment possible de combiner deux cames agencées pour pincer le spiral de part et d'autre ;
- la figure 13 représente, de façon schématisée, et partielle, le spiral d'un ensemble balancier-spiral, avec une spire additionnelle fixée à ce spiral et venant en doublure localement avec la courbe terminale du spiral, et un dispositif régulateur actionnant une extrémité de cette spire additionnelle ;
  - la figure 14 illustre un spiral avec, au voisinage de sa courbe terminale, une autre spire qui est maintenue à une première extrémité par un appui manœuvré par un dispositif régulateur, et qui est libre à une deuxième extrémité agencée pour venir périodiquement en contact avec la courbe terminale sous l'action du dispositif régulateur sur cet appui ;
  - la figure 15 illustre une régulation obtenue avec un résonateur du type de la figure 2 ;
  - les figures 16A et 16B illustrent une modification du centre de gravité du résonateur, avec un résonateur à balancier-spiral comportant un balancier porteur de ressorts sensiblement radiaux fixés à la serge et porteurs de masselottes oscillantes, certains vers l'intérieur et d'autres vers l'extérieur de la serge ;
  - les figures 17A et 17B illustrent, de façon analogue à la figure 5, un autre système à balancier à ailettes à pivot flexible permettant de modifier les pertes aérodynamiques et l'inertie ;
  - les figures 18A à 18 D illustrent une modulation du centre de gravité, sur la base d'un résonateur tel celui de la figure 3 ou de la figure 7, comportant des balanciers-spiraux embarqués ;
  - la figure 19 illustre un exemple de réalisation d'oscillateur paramétrique avec une virole de balancier porteuse d'un ressort en silicium porteur d'une masselotte périphérique alourdie par une couche d'or, l'ensemble ressort-masselotte oscillant à une fréquence de régulation  $\omega_R$  ;
  - la figure 20 représente un balancier comportant des ensembles ressort-masselotte similaires à celui de la figure 19 ;
  - la figure 21 représente un diapason dont une branche est porteuse d'un ensemble balancier-spiral secondaire monté fou en pivotement ;
  - la figure 22 représente un diapason dont une branche est porteuse d'un ensemble ressort-masselotte monté libre en vibration ;
  - la figure 23 représente, sous forme d'un schéma-blocs, une montre comportant un mouvement mécanique avec un mécanisme résonateur réglé selon l'invention par un dispositif régulateur à fréquence double.

#### Description détaillée des modes de réalisation préférés

**[0008]** Le but de l'invention est de fabriquer une base de temps pour rendre une pièce d'horlogerie, en particulier une pièce d'horlogerie mécanique, notamment une montre mécanique, la plus précise possible.

**[0009]** Une manière d'y parvenir consiste à associer différents résonateurs, soit directement, soit via l'échappement.

**[0010]** Pour pallier le facteur d'instabilité lié à un mécanisme d'échappement, un système de résonateur paramétrique permet notamment de diminuer l'influence de ce mécanisme d'échappement, et de rendre ainsi la montre plus précise.

**[0011]** Un oscillateur paramétrique utilise, pour le maintien des oscillations, une actuation paramétrique qui consiste à faire varier au moins un des paramètres de l'oscillateur avec une fréquence de régulation  $\omega_R$ .

**[0012]** Par convention et afin de bien les distinguer, on appelle ici « régulateur » 2 l'oscillateur qui sert à l'entretien et à la régulation de l'autre système entretenu, lequel reste dénommé « le résonateur » 1.

**[0013]** La lagrangienne L d'un résonateur paramétrique de dimension 1 est :

$$L = T - V = \frac{1}{2} I(t) \dot{x}^2 - \frac{1}{2} k(t) [x - x_0(t)]^2$$

où T est l'énergie cinétique et V l'énergie potentielle et l'inertie  $I(t)$ , la rigidité  $k(t)$  et la position de repos  $x_0(t)$  dudit résonateur sont une fonction périodique du temps. x est la coordonnée généralisée du résonateur.

L'équation du résonateur paramétrique forcé et amorti est obtenue par l'équation de Lagrange pour la lagrangienne L en ajoutant un forçant  $f(t)$  et une force de Lan-gevin prenant en compte les mécanismes dissipatifs :

$$\frac{\partial^2 x}{\partial^2 t} + \gamma(t) \frac{\partial x}{\partial t} + \omega^2(t) [x - x_0(t)] = f(t)$$

où le coefficient de la dérivée du premier ordre en x est :

$$\gamma(t) = [\beta(t) + i(t)]/I(t),$$

$\beta(t) > 0$  étant le terme décrivant les pertes, et où le coefficient du terme d'ordre nul dépend de la fréquence du résonateur

$$\omega(t) = \sqrt{k(t)/I(t)}.$$

La fonction  $f(t)$  prend la valeur 0 dans le cas d'un oscilla-

teur non-forcé.

Cette fonction  $f(t)$  peut, encore, être une fonction périodique, ou encore être représentative d'une impulsion de type Dirac.

**[0014]** L'invention consiste à faire varier, par l'action d'un oscillateur d'entretien dit régulateur, l'un et/ou l'autre, ou tous, les termes  $\beta(t)$ ,  $k(t)$ ,  $l(t)$ ,  $x_0(t)$ , avec une fréquence de régulation  $\omega_R$  qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier, notamment double, de la fréquence propre  $\omega_0$  du système oscillateur à réguler.

**[0015]** Pour comprendre ce phénomène, on peut se rapprocher de l'exemple d'un pendule dont on fait varier la longueur. L'équation d'un oscillateur amorti est la suivante :

$$\frac{\partial^2 x}{\partial^2 t} + \beta(t) \frac{\partial x}{\partial t} + \omega^2(t) [x - x_0(t)] = f(t)$$

où le terme du premier ordre en  $x$  est le terme de pertes, et où le terme d'ordre nul est le terme de fréquence du résonateur, et où  $x_0(t)$  correspond à la position de repos du résonateur.

La fonction  $f(t)$  prend la valeur 0 dans le cas d'un oscillateur non-forcé.

Cette fonction  $f(t)$  peut, encore, être une fonction périodique, ou encore être représentative d'une impulsion de type Dirac.

**[0016]** L'invention consiste à faire varier, par l'action d'un oscillateur d'entretien ou régulateur 2, l'un et/ou l'autre, ou tous, les termes  $\beta(t)$ ,  $k(t)$ ,  $l(t)$ ,  $x_0(t)$ , avec une fréquence de régulation  $\omega_R$  qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier, cet entier étant supérieur ou égal à 2, notamment égal à 2, de la fréquence propre  $\omega_0$  du système oscillateur à réguler, en l'occurrence le résonateur 1. Dans une application particulière, la fréquence de régulation  $\omega_R$  est comprise entre 1.8 fois et 2.2 fois la fréquence propre  $\omega_0$ , et plus particulièrement, la fréquence de régulation  $\omega_R$  est le double de la fréquence propre  $\omega_0$ .

**[0017]** De préférence, un ou plusieurs termes, ou tous les termes  $\beta(t)$ ,  $k(t)$ ,  $l(t)$ ,  $x_0(t)$ , varient avec une fréquence de régulation  $\omega_R$  ainsi définie, et qui est de préférence multiple entière, notamment double, de la fréquence propre  $\omega_0$  du système résonateur 1 à réguler.

**[0018]** Généralement, l'oscillateur d'entretien ou régulateur, en plus de la modulation des termes paramétriques, introduit aussi un terme d'entretien non paramétrique  $f(t)$ , dont l'amplitude est négligeable une fois que le régime paramétrique est atteint [W. B. Case, The pumping of a swing from the standing position, Am. J. Phys. 64, 215 (1996)].

**[0019]** Dans une variante, le terme forçant  $f(t)$  peut être introduit par un deuxième mécanisme d'entretien.

**[0020]** L'oscillateur d'entretien ou régulateur 2 permet, encore, de faire varier, s'il est non nul, le terme  $f(t)$ .

**[0021]** Dans l'exemple de l'oscillateur amorti non forcé, et dans le cas où  $x_0$  est une constante, les paramètres de l'équation se résument au terme de fréquence  $\omega$  et au terme de pertes  $\beta$ , notamment de pertes par frottements mécaniques, ou aérodynamiques, ou internes, ou autres.

**[0022]** Le facteur de qualité de l'oscillateur est défini par  $Q = \omega/\beta$ .

**[0023]** Pour mieux comprendre le phénomène, on peut se rapprocher de l'exemple d'un pendule dont on fait varier la longueur. Dans ce cas,

$$\omega^2 = \frac{g}{L}$$

avec  $L$  la longueur du pendule, et  $g$  l'attraction de la pesanteur.

**[0024]** Dans l'exemple particulier donné du pendule, si la longueur  $L$  est modulée dans le temps périodiquement avec une fréquence  $2\omega$  et une amplitude de modulation  $\delta L$  suffisante ( $\delta L/L > 2\beta/\omega$ ), le système oscille à la fréquence  $\omega$  sans s'amortir.

**[D. Rugar et P. Grutter, Mechanical parametric amplification and thermomechanical noise squeezing, PRL 67, 699 (1991), A. H. Nayfeh and D. T. Mook, Nonlinear Oscillations, Wiley-Interscience, (1977)].**

**[0025]** Le terme d'ordre nul peut encore prendre la forme  $\omega^2(A, t)$ , où  $A$  est l'amplitude d'oscillation.

**[0026]** Ainsi, l'invention concerne un procédé et un système d'entretien et de régulation d'un mécanisme résonateur 1 d'horlogerie autour de sa fréquence propre  $\omega_0$ . Selon l'invention on met en oeuvre au moins un dispositif régulateur 2 agissant sur le mécanisme résonateur 1 avec un mouvement périodique.

**[0027]** Plus particulièrement, on met en oeuvre au moins un dispositif régulateur 2 imprimant un mouvement périodique à au moins un composant interne du mécanisme résonateur 1, ou à un composant externe exerçant une influence sur un tel composant interne comme une influence aérodynamique ou un freinage, ou encore modulant un champ magnétique ou électrostatique ou électromagnétique ou similaire exerçant un effort dit de rappel (à prendre ici au sens large : d'attraction ou de répulsion) sur un tel composant interne du résonateur 1.

**[0028]** Selon l'invention ce mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance et/ou du facteur de qualité et/ou du point de repos du mécanisme résonateur 1, avec une fréquence de régulation  $\omega_R$  qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de la fréquence propre  $\omega_0$ , cet entier étant supérieur ou égal à 2.

**[0029]** Dans un premier mode de mise en oeuvre particulier de l'invention, ce mouvement périodique impose une modulation périodique au moins de la fréquence de résonance du mécanisme résonateur 1, avec une telle fréquence de régulation  $\omega_R$  qui est comprise entre 0.9

fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de la fréquence propre  $\omega_0$ , cet entier étant supérieur ou égal à 2.

**[0030]** Dans un deuxième mode de mise en oeuvre particulier de l'invention, ce mouvement périodique impose une modulation périodique au moins du facteur de qualité du mécanisme résonateur 1, avec une fréquence de régulation  $\omega_R$  qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de la fréquence propre  $\omega_0$ , cet entier étant supérieur ou égal à 2.

**[0031]** Dans un troisième mode de mise en oeuvre particulier de l'invention, ce mouvement périodique impose une modulation périodique au moins du point de repos du mécanisme résonateur 1, avec une fréquence de régulation  $\omega_R$  qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de la fréquence propre  $\omega_0$ , cet entier étant supérieur ou égal à 2.

**[0032]** Naturellement, d'autres modes particuliers de mise en oeuvre de l'invention autorisent le panachage de ces premier, deuxième, et troisième modes.

**[0033]** Ainsi, dans un quatrième mode de mise en oeuvre particulier de l'invention combinant les premier et deuxième modes, ce mouvement périodique impose une modulation périodique au moins de la fréquence de résonance et du facteur de qualité du mécanisme résonateur 1, avec une fréquence de régulation  $\omega_R$  qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de la fréquence propre  $\omega_0$ , cet entier étant supérieur ou égal à 2.

**[0034]** Dans un cinquième mode de mise en oeuvre particulier de l'invention combinant les deuxième et troisième modes, ce mouvement périodique impose une modulation périodique au moins du facteur de qualité et du point de repos du mécanisme résonateur 1, avec une fréquence de régulation  $\omega_R$  qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de la fréquence propre  $\omega_0$ , cet entier étant supérieur ou égal à 2.

**[0035]** Dans un sixième mode de mise en oeuvre particulier de l'invention combinant les premier et troisième modes, ce mouvement périodique impose une modulation périodique au moins de la fréquence de résonance et du point de repos du mécanisme résonateur 1, avec une fréquence de régulation  $\omega_R$  qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de la fréquence propre  $\omega_0$ , cet entier étant supérieur ou égal à 2.

**[0036]** Dans un septième mode de mise en oeuvre particulier de l'invention combinant les premier, deuxième et troisième modes, ce mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance et du facteur de qualité et du point de repos du mécanisme résonateur 1, avec une fréquence de régulation  $\omega_R$  qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de la fréquence propre  $\omega_0$ , cet entier étant supérieur ou égal à 2.

**[0037]** Dans une mise en oeuvre particulière de ces différents modes de mise en oeuvre du procédé, toutes les modulations sont faites, ou bien avec la même fréquence  $\omega_R$ , ou bien avec des fréquences  $\omega_R$  multiples

les unes des autres.

**[0038]** Détailons ci-après les trois premiers modes principaux de mise en oeuvre de l'invention.

**[0039]** Dans une mise en oeuvre particulière du premier mode de l'invention, ce mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance du mécanisme résonateur 1, en agissant sur la rigidité et/ou sur l'inertie du mécanisme résonateur 1. Plus particulièrement, ce mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance du mécanisme résonateur 1, en imposant à la fois une modulation de la rigidité du mécanisme résonateur 1 et une modulation d'inertie du mécanisme résonateur 1.

**[0040]** Différentes variantes avantageuses permettent différents moyens de réalisation de l'invention dans ce premier mode:

Dans une première variante du premier mode, ce mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance du mécanisme résonateur 1, en imposant une modulation de l'inertie du mécanisme résonateur 1 par modulation de la masse du mécanisme résonateur 1, et/ou par modulation de la forme du mécanisme résonateur 1 (tel que visible aux figures 1, 2, ou 3), et/ou par modulation de la position du centre de gravité du mécanisme résonateur 1 tel que visible par exemple sur le croquis de la figure 4.

**[0041]** Toujours dans cette première variante du premier mode, les figures 16A et 16B illustrent aussi une modification du centre de gravité du résonateur, et aussi de son inertie.

**[0042]** Toujours dans cette première variante du premier mode, les figures 18A à 18D illustrent une modulation du centre de gravité, sur la base d'un résonateur tel celui de la figure 3 ou de la figure 7. Un tel système comporte des balanciers-spiraux secondaires 260 embarqués. Ces balanciers-spiraux secondaires 260 sont avantageusement remplacés par des systèmes sans axes, c'est-à-dire à guidage flexible, ceci d'autant plus facilement que l'amplitude de leur oscillation n'est pas nécessairement élevée. Dans ce cas, seule l'inertie du balancier-spiral principal est modifiée. Selon la position angulaire des balourds des petits balanciers-spiraux, il est ainsi possible de créer un système, dont le centre de gravité est modulé.

**[0043]** Une telle modulation de la position du centre de gravité est de préférence une modulation dynamique, agissant sur un ou plusieurs des composants du résonateur 1. La modulation d'inertie est réalisable par modification de forme, par changement de masse, ou par changement du centre de gravité du résonateur par rapport à son centre de rotation, par exemple avec l'utilisation d'un balancier flexible. Il est, encore, possible de recourir à des résonateurs embarqués, avec une dissymétrie avec un rapport de phase adéquat, tel que visible sur la figure 7, où les balourds sont, soit en phase, soit

en alternance anti-phase.

**[0044]** Dans une deuxième variante du premier mode, ce mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance du mécanisme résonateur 1, en imposant une modulation de la rigidité d'un moyen de rappel élastique que comporte le mécanisme résonateur 1 ou une modulation d'un rappel exercé par un champ magnétique ou électrostatique ou électromagnétique au sein du mécanisme résonateur 1. Plus particulièrement, dans cette deuxième variante, le mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance du mécanisme résonateur 1, en imposant une modulation de la longueur active d'un ressort que comporte le mécanisme oscillateur 1 (tel que visible aux figures 11 et 12), ou une modulation de la section d'un ressort que comporte le mécanisme oscillateur 1 (tel que visible aux figures 13 et 14), ou une modulation du module d'élasticité d'un moyen de rappel que comporte le mécanisme résonateur 1, ou une modulation de la forme d'un moyen de rappel que comporte le mécanisme résonateur 1. La modulation du module d'élasticité d'un composant du résonateur 1 peut être obtenue par la mise en oeuvre d'un système piézoélectrique, d'un champ électrique (électrodes), par une chauffe périodique localisée, par l'action d'un champ magnétique soumettant des alliages particuliers à une dilatation, par des systèmes de résonance opto-mécaniques, par torsion ou encore par vrillage, en particulier pour des matériaux à mémoire de forme.

**[0045]** Dans une troisième variante du premier mode résultant d'une combinaison avec le troisième mode de l'invention, le mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance du mécanisme résonateur 1 en imposant à la fois une modulation de la rigidité du mécanisme résonateur 1, et une modulation du point de repos du mécanisme résonateur 1.

**[0046]** Pour agir sur la rigidité, on peut avantageusement utiliser des phénomènes de magnétostriction, en modifiant la rigidité de façon périodique, par soumission d'un composant, réalisé dans un matériau adéquat, du résonateur 1 à un champ magnétique (aimantation interne et/ou champ externe), ou encore à des chocs.

**[0047]** Pour agir sur le module d'élasticité, il est également possible d'utiliser le phénomène de magnétostriction, mais aussi de recourir à une élévation périodique de température, à des composants à mémoire de forme, à l'effet piézoélectrique, ou encore à l'atteinte de régimes non-linéaires par l'emploi de contraintes particulières.

**[0048]** Dans une mise en oeuvre particulière du deuxième mode de l'invention, ce mouvement périodique impose une modulation périodique du facteur de qualité du mécanisme résonateur 1, en agissant sur les pertes et/ou l'amortissement et/ou les frottements du mécanisme résonateur 1. Notamment on peut agir de différentes façons :

- dans une première variante de ce deuxième mode,

le mouvement périodique impose une modulation périodique du facteur de qualité du mécanisme résonateur 1, en agissant sur les pertes aérodynamiques du mécanisme résonateur 1, par modulation de la forme du mécanisme résonateur 1 (tel que visible en figure 5 sur un balancier muni d'ailettes pivotantes, ou en figure 17) et/ou par modification de l'environnement autour du mécanisme résonateur 1 (tel que visible en figure 6 où un patin animé d'un mouvement périodique modifie la circulation d'air autour du balancier) ;

- dans une deuxième variante de ce deuxième mode, le mouvement périodique impose une modulation périodique du facteur de qualité du mécanisme résonateur 1, en modulant l'amortissement interne des moyens de rappel élastique que comporte le mécanisme résonateur 1, par exemple avec une circulation de liquide dans un corps creux (par exemple le spiral ou le balancier d'un ensemble balancier-spiral), ou encore sous l'effet d'une torsion appliquée de façon périodique à un ressort-spiral ou similaire, entraînant à la fois des modifications induites de la rigidité et de l'amortissement du résonateur comportant ce ressort. Dans un cas particulier on peut modifier les pertes internes, sans modifier la rigidité : on substitue deux ressorts à un ressort unique de rigidité globale équivalente, les pertes internes sont alors supérieures ; on peut notamment mettre en série, ou en parallèle selon le cas, deux ressorts, dont l'un peut être pré-contraint. Un autre moyen de modifier les pertes tout en conservant la même rigidité est d'utiliser, sur un ressort, ou bien une compensation thermique par dopage du silicium, ou bien un effet thermo-élastique avec un transfert de chaleur entre deux parties différentes de la spire d'un ressort.
- dans une troisième variante de ce deuxième mode, le mouvement périodique impose une modulation périodique du facteur de qualité du mécanisme résonateur 1, en modulant les frottements mécaniques au sein du mécanisme résonateur 1, avec un effet analogue à une augmentation virtuelle de gravité. Un exemple est visible à la figure 8, où une lame frottante coopère, de façon modulée, avec un bras d'un diapason.

Dans une mise en oeuvre particulière du troisième mode de l'invention, ce mouvement périodique impose une modulation périodique du point de repos du mécanisme résonateur 1, par modulation de la position de fixation du mécanisme résonateur 1 et/ou par modulation de l'équilibre entre les forces de rappel agissant sur le mécanisme résonateur 1. La modulation de la position de fixation du mécanisme résonateur 1 peut s'exercer sur au moins un point de fixation de ce résonateur 1. Par exemple, sur un résonateur 1 à balancier-spiral 3, on peut agir sur le piton et/ou sur la virole 7 de fixation du spiral 4, sur au moins un point de pivotement par action sur les anti-chocs des pivots. On peut utiliser à cet effet cer-

- taines fonctions du mouvement, par exemple dans un mécanisme d'échappement classique, la percussion de l'ancre sur des ressorts ou similaire.
- plus particulièrement, dans une première variante de ce troisième mode, le mouvement périodique impose une modulation périodique du point de repos du mécanisme résonateur 1, par modulation de l'équilibre entre les forces de rappel agissant sur le mécanisme résonateur 1 générées par des moyens mécaniques de rappel élastique et/ou des moyens de rappel magnétiques et/ou des moyens de rappel électrostatiques. Pour moduler cet équilibre, le plus simple est de soumettre le résonateur à plusieurs forces de rappel d'origines différentes, dont il suffit de moduler au moins l'une dans le temps, en intensité et/ou en direction. Ces forces ne sont pas nécessairement toutes de même nature, certaines peuvent être mécaniques (ressorts) et d'autres liées à l'application d'un champ. Un exemple particulier est l'application à un balancier-spiral 3 équipé de deux spiraux, la modulation de position d'un seul des pitons suffit à moduler l'équilibre. Un vrillage d'un ressort-spiral, selon l'angle  $\Psi$  de la figure 10, est un bon moyen de modifier le bilan des forces appliquées sur le résonateur 1, et donc de moduler leur équilibre. On note à ce propos qu'on peut appliquer les six degrés de liberté au piton, la figure représentant une application particulière simplifiée, et notamment la rotation autour de l'axe Z peut être avantageuse ;
  - dans une deuxième variante de ce troisième mode, on combine la modulation du point de repos avec une modulation de la rigidité selon le premier mode : en effet, souvent, si on modifie l'équilibre des forces, on modifie aussi la rigidité globale. L'action de modulation sur le point de repos se combine alors avec une action de modulation de la rigidité.

**[0049]** De préférence, quand le composant sur lequel on peut moduler la rigidité se compose de plusieurs éléments, on effectue la modulation sur au moins un de ces éléments.

**[0050]** Dans un autre mode de mise en oeuvre de l'invention, le mouvement périodique impose une modulation périodique du facteur de qualité du mécanisme résonateur 1, et selon l'invention on imprime le mouvement périodique, à la même fréquence de régulation  $\omega_R$ , à la fois à un composant du mécanisme résonateur 1 et à un mécanisme générateur de pertes sur au moins un composant du mécanisme résonateur 1.

**[0051]** Dans un autre mode encore de mise en oeuvre de l'invention, compatible avec chacun des différents modes présentés ci-dessus, le mécanisme régulateur 2 impose une modification périodique de la fréquence du mécanisme résonateur 1 ayant une amplitude relative supérieure à l'inverse du facteur de qualité du mécanisme résonateur 1.

**[0052]** Dans un mode de l'invention facile à mettre en oeuvre, un tel dispositif régulateur 2 agit sur au moins

une fixation du mécanisme résonateur 1.

**[0053]** En ce qui concerne la fréquence  $\omega_R$ , s'il est imaginable que la modulation périodique des différentes caractéristiques : fréquence de résonance, facteur qualité point de repos, se fasse pour chacun selon des multiples différents de la fréquence  $\omega_0$ , (par exemple, une modulation de la rigidité avec le double de la fréquence de base et une modulation du facteur qualité selon le quadruple de la fréquence de base), cela n'apporte pas d'avantage particulier, parce que le maximum de l'effet et de la stabilité de l'amplification paramétrique est obtenu quand la fréquence est le double de la fréquence de base. De plus, il n'est pas évident d'imaginer un système pour lequel chaque caractéristique est modulée de façon différente, sauf s'il y a une pluralité de régulateurs 2, ce qui rendrait le système complexe. Aussi de préférence, la modulation de tous les paramètres se fait selon la même fréquence  $\omega_R$ .

**[0054]** Différentes applications de l'invention sont possibles.

**[0055]** Dans une application classique, on applique l'invention à un mécanisme résonateur 1 comportant au moins un moyen de rappel élastique 40, et on fait agir au moins un tel dispositif régulateur 2 en commandant une variation périodique de la fréquence du mécanisme résonateur 1 et/ou du facteur de qualité de ce mécanisme résonateur 1.

**[0056]** Dans une application usuelle en horlogerie, on applique l'invention à un mécanisme résonateur 1 comportant au moins un ensemble balancier-spiral 3 comportant un balancier 26 avec au moins un spiral 4 en tant que moyen de rappel élastique 40. Plus particulièrement, tel que visible sur la figure 3, on modifie l'inertie et le facteur de qualité du mécanisme résonateur 1, par mise en oscillation, par le dispositif régulateur 2, de balanciers-spiraux secondaires 260 à fort balourd résiduel 261 montés excentrés sur le balancier 26, et oscillant en fonction de la vitesse du résonateur 1.

**[0057]** Dans une autre variante de l'application à un ensemble balancier-spiral 3 comportant un balancier 26 avec au moins un spiral 4 en tant que moyen de rappel élastique 40, on modifie le facteur de qualité du mécanisme résonateur 1 par une modification des frottements dans l'air du balancier 26, générée par une modification locale de géométrie du balancier 26 sous l'action du dispositif régulateur 2, le dispositif est ici sur le balancier 26. Par exemple, tel que visible en figure 5, le balancier 26 peut porter des ailettes en ailes d'avion articulées à sa périphérie, notamment par des guidages flexibles ou similaire, ces ailettes étant de préférence réversibles et pouvant alors basculer entièrement selon le sens du mouvement. De préférence ces ailettes sont tenues par des lames flexibles. Quand la vitesse est intermédiaire les ailettes sont proches de la serre, selon la figure 5A. Lorsque la vitesse est maximale selon la figure 5B, un effet aérodynamique les fait se relever (effet aile d'avion), lors du retournement les ailettes passent de l'autre côté tel que visible sur la figure 5C. Dans cet exemple l'inertie

est modifiée avec une fréquence qui est de 4 fois la fréquence propre du résonateur balancier-spiral. On obtient ainsi un frottement d'air de type aéro-frein, avec un volet en périphérie du balancier, ayant une influence sur le facteur qualité ou/et sur l'inertie. Ce volet peut être monté pivotant libre, ou encore pivotant et rappelé par un ressort type spiral ou guidage flexible ou similaire. Une variante peut consister en une serge de balancier à géométrie variable. Ainsi, dans une telle variante, on modifie le facteur de qualité du mécanisme résonateur 1 par une modification des frottements dans l'air du balancier 26 générée par une modification locale de géométrie de ce balancier 26 sous l'action du dispositif régulateur 2. On notera que le régulateur 2 peut bouger indépendamment de la vitesse du régulateur 1. Une variante particulière consiste à combiner cette variante avec la variante précédente de mise en oscillation de balanciers-spiraux 260 excentrés.

**[0058]** Dans une autre variante où on joue sur son environnement plutôt que sur le balancier lui-même, on modifie le facteur de qualité du mécanisme résonateur 1 par une modification des frottements dans l'air du balancier 26 générée par une modification locale de géométrie de l'environnement autour du balancier 26 sous l'action du dispositif régulateur 2, tel que visible en figure 6 où un patin animé d'un mouvement périodique modifie la circulation d'air autour du balancier.

**[0059]** L'invention est aussi applicable à des mécanismes résonateurs 1 sans moyens de rappel mécaniques. Ainsi, dans des applications particulières, non illustrées, le mouvement périodique du mécanisme régulateur 2 impose la modulation de la fréquence et/ou du facteur de qualité et/ou du point de repos du mécanisme résonateur 1 par l'intermédiaire d'une force électrique ou magnétique ou électromagnétique à distance.

**[0060]** Une autre variante d'application de l'invention, visible en figure 9, concerne un mécanisme résonateur 1 comportant au moins un balancier 26 comportant une virole 7 maintenant un fil de torsion 46 lequel constitue un moyen de rappel élastique 40, où on fait agir au moins un dispositif régulateur 2 en commandant une variation périodique de la tension du fil de torsion 46. Dans une variante similaire, le fil de torsion est remplacé par un guidage flexible.

**[0061]** Une autre variante d'application de l'invention, visible en figure 8, concerne un mécanisme résonateur 1 comportant au moins un diapason, où on fait agir au moins un dispositif régulateur 2 en commandant une variation périodique de la fréquence du mécanisme résonateur 1 et/ou de la rigidité d'au moins un bras du diapason définissant le facteur de qualité du mécanisme résonateur 1. Plus particulièrement le dispositif régulateur 2 peut agir sur la fixation du diapason, ou/et sur un mobile exerçant un appui sur au moins un bras du diapason. On notera qu'un tel diapason n'est pas nécessairement sous la forme classique d'une fourche, et peut prendre, entre autres formes possibles, une forme en cœur ou une forme de H.

**[0062]** En variante, l'invention est encore applicable à un résonateur à un seul bras, ou à un résonateur travaillant en torsion, ou encore en allongement.

**[0063]** De façon avantageuse, l'invention permet d'utiliser le dispositif régulateur 2 pour le démarrage et/ou l'entretien du mécanisme résonateur 1. De préférence, ce dispositif régulateur 2 est en coopération avec un mécanisme de démarrage et/ou d'entretien du mécanisme résonateur 1 pour augmenter l'amplitude d'oscillation du résonateur 1.

**[0064]** L'invention permet, avantageusement, le co-entretien : entretien standard à basse consommation, combiné au procédé paramétrique pour soutenir l'oscillation. Le dispositif régulateur 2 est utilisé pour l'entretien continu du mécanisme résonateur 1, seul ou en coopération avec un mécanisme de démarrage et/ou d'entretien impulsional.

**[0065]** Par exemple, un tel entretien peut être obtenu avec un système à balancier-spiral, comportant un balancier comportant sur sa serge des ressorts porteurs de masselottes oscillantes, selon la configuration de la figure 2. Un échappement à ancre, ou similaire, permet alors d'exciter les oscillations du balancier et les petites masselottes. Les ressorts et les masselottes oscillent à une fréquence, ici double, de la fréquence propre du balancier-spiral. Les masselottes oscillent par couplage inertiel. L'effet paramétrique a bien lieu, car l'inertie du balancier varie alors à une fréquence double de celle du balancier-spiral. La figure 15 illustre une régulation obtenue avec un tel résonateur. Il est à noter que dans ce cas-là, les pertes aérodynamiques sont aussi modifiées.

**[0066]** Un autre exemple consiste à utiliser un échappement à détente, assurant aussi le comptage, en coopération avec un mécanisme régulateur 2 agissant sur la rigidité du spiral 4 (avec des goupilles qui se déplacent).

**[0067]** L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie 10 comportant au moins un mécanisme résonateur 1. Selon l'invention ce mouvement 10 comporte au moins un tel dispositif régulateur 2, agencé pour agir sur le mécanisme résonateur 1, en imposant une modulation périodique d'une ou plusieurs caractéristiques physiques du mécanisme résonateur 1 : fréquence de résonance et/ou facteur de qualité et/ou point de repos, avec une fréquence de régulation  $\omega_R$  qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de la fréquence propre  $\omega_0$  du mécanisme résonateur 1, cet entier étant supérieur ou égal à 2.

**[0068]** Dans une variante, ce dispositif régulateur 2 est agencé pour agir sur le mécanisme résonateur 1 en lui imprimant directement un mouvement périodique avec une telle fréquence de régulation  $\omega_R$ .

**[0069]** Dans une variante, ce dispositif régulateur 2 agit sur au moins une fixation du mécanisme résonateur 1, ou/et sur la fréquence, notamment sur la rigidité et/ou l'inertie, du mécanisme résonateur 1, ou/et sur le facteur qualité du mécanisme résonateur 1, ou/et sur les pertes ou frottements du mécanisme résonateur 1.

**[0070]** Dans une variante, ce dispositif régulateur 2 agit sur le mécanisme résonateur 1 en imprimant le mouvement périodique à un composant du mécanisme résonateur 1 ou/et à un mécanisme générateur de pertes sur au moins un composant du mécanisme résonateur 1.

**[0071]** L'invention concerne encore une pièce d'horlogerie 30 comportant au moins un tel mouvement d'horlogerie 10.

**[0072]** Les quelques exemples d'oscillateurs paramétriques, illustrés ici ne sont pas limitatifs. Certains, comme ceux des figures 15 à 18, peuvent être introduits directement dans des mouvements existants, en substitution de composants standard comme des balanciers, ce qui représente un avantage, car il n'y a aucune remise en cause de la conception ni de la fabrication des composants mécaniques du mouvement concerné.

**[0073]** Un des avantages de ces systèmes est de pouvoir faire fonctionner un balancier-spiral à haute fréquence, malgré la baisse inhérente du rendement de l'échappement.

**[0074]** Le principe le plus aisé à mettre en oeuvre consiste à faire osciller une partie du balancier. Ces oscillations (à une fréquence multiple  $n \geq 2$  de la fréquence propre du balancier-spiral) modifient, soit l'inertie, soit le centre de gravité, soit les pertes aérodynamiques.

**[0075]** Les figures illustrent des exemples simples, non limitatifs, de réalisations de l'invention. Certains peuvent être mis en oeuvre très simplement, par exemple par substitution d'un balancier particulier à un balancier standard.

**[0076]** Ces exemples montrent que les constituants du régulateur 2 peuvent être embarqués sur certains composants du résonateur 1. Dans de nombreux cas, l'invention ne nécessite pas de circuit secondaire d'excitation, c'est le dimensionnement des composants du régulateur qui lui permet d'osciller à une fréquence  $\omega_R$  définie dans sa relation particulière par rapport à la fréquence propre  $\omega_0$  du résonateur 1.

**[0077]** La figure 1 représente un mécanisme résonateur 1 paramétrique réglé selon l'invention, comportant un balancier-spiral 3 avec un balancier 26 et un spiral non représenté, constituant un résonateur. L'inertie et/ou le facteur de qualité est modulé/e par des masselottes 71 disposées radialement ou tangentiellement par l'intermédiaire de ressorts 72, ces derniers fixés en des points de liaison 73 à la structure du balancier 26, en particulier sa serge. Ces ensembles masselotte-ressort sont excités à une fréquence double de la fréquence  $\omega_0$  du résonateur 1 à balancier-spiral 3. Le résonateur 1 porte ici les éléments du régulateur 2 constitués par les ensembles masselotte-ressort, qui vibrent radialement et/ou tangentiellement lors du mouvement de pivotement du balancier 26. Certains peuvent notamment être guidés dans une piste 74 que comporte le balancier 26. La vibration radiale des masselottes influe sur l'inertie et le terme de frottement, la vibration tangentielle influe sur l'inertie dynamique. Le balancier 26 porte ici encore des bras 85 porteur de lames vibrantes 84, qui oscillent es-

sentiellement de façon radiale. Pour une bonne efficacité d'un tel régulateur 2, les ressorts 72 sont de préférence de grand volume en comparaison du balancier, leur emprise radiale est par exemple de l'ordre du rayon de la serge du balancier lui-même, voire davantage avec par exemple une emprise radiale du ressort 72 et de la masselotte 71 équivalent au quadruple du rayon d'une virole 7.

**[0078]** De préférence, et cela vaut pour tous les exemples, tous les ensembles vibratoires que comporte le régulateur oscillent à la même fréquence  $\omega_R$  définie par l'invention. On peut, encore, admettre que certains d'entre eux oscillent à une fréquence multiple entière de cette fréquence  $\omega_R$  définie par l'invention en relation à la fréquence propre  $\omega_0$ .

**[0079]** La figure 2 représente également un résonateur 1 à balancier-spiral 3, dont le balancier 26 porte les éléments du régulateur 2 : quatre ressorts 72 radiaux liés à la serge aux points 73 et porteurs de masselottes 71, et soumis à une excitation de régulation à une fréquence double de la fréquence  $\omega_0$  du résonateur 1. La figure 15 illustre une régulation obtenue avec un tel résonateur.

**[0080]** La figure 3 représente une solution très facile de substitution d'un balancier existant, avec un résonateur 1 similaire à ceux des figures 1 et 2, comportant un balancier 26 porteur de balanciers-spiraux secondaires 260 embarqués présentant chacun un fort balourd 261, montés libres en rotation. On peut distinguer deux modes de réalisation :

- ou bien les balanciers-spiraux secondaires 260 sont entièrement libres en rotation, sans limitation d'amplitude, par exemple avec un pivotement mécanique classique ;
- ou bien les balanciers-spiraux secondaires 260 sont limités en amplitude, et sont par exemple réalisés monobloc avec le balancier 26 dans une exécution en silicium ou similaire, avec un pivot flexible, et donc une amplitude limitée.

**[0081]** La figure 4 représente avec un résonateur 1 similaire à ceux des figures précédentes, avec un balancier 26 suspendu à une ou plusieurs structures 50 par deux ressorts 51 sensiblement radiaux diamétralement opposés, la trajectoire du centre de gravité du balancier 26 correspondant à la direction commune de ces deux ressorts 51. Dans une variante, l'axe du balancier est tenu par des ressorts. Dans une autre variante, le balancier 26 n'est pas pivoté avec un arbre classique, mais seulement avec des guidages flexibles ; l'axe virtuel du balancier est alors défini par la direction des ressorts. La figure est volontairement simplifiée avec seulement deux ressorts, il est naturellement imaginable de suspendre le balancier 26 entre trois ressorts 51 ou davantage. Une exécution monobloc de tout cet ensemble est possible, dans la limite de l'amplitude de pivotement souhaitée pour le balancier 26. On comprend qu'une exécution multi-niveaux est possible, pour répartir les composants

fonctionnels sur des plans différents.

**[0082]** Les figures 5A, 5B, 5C représentent, encore un résonateur 1 similaire incorporant un balancier 26 portant sur sa serge des ailettes 60, à profil aérodynamique, articulées au niveau de pivots flexibles 81 sur la serge du balancier 26, et qui pivotent lors du mouvement de pivotement du balancier 26, tel qu'exposé plus haut. Cette configuration peut fonctionner dans le vide, avec une fréquence de régulation des ailettes double de la fréquence propre  $\omega_0$ , ou encore dans l'air, avec une fréquence quadruple de  $\omega_0$ .

**[0083]** La figure 6 représente un résonateur 1 avec un balancier 26. Ici le régulateur 2 est complètement séparé du résonateur 1 : un patin 82 au voisinage de la serge du balancier 26 fait frein aérodynamique, est suspendu par un ressort 83 à une structure 50, et est mobile à une fréquence double de celle du résonateur 1 à balancier-spiral incorporant ce balancier. Cette mobilité peut provenir d'une source externe d'excitation, elle peut, encore, provenir d'un profil, par exemple denté, de la serge du balancier, qui crée une variation d'écoulement d'air au voisinage du patin 82.

**[0084]** La figure 7 représente un balancier similaire à celui de la figure 3, avec deux balanciers-spiraux secondaires 260 à fort balourd 261, montés libres sur un même diamètre et dans une position d'alignement des balourds, différents (au point de repos) de ceux de la figure 3, et soit en phase, soit en alternance anti-phase. De préférence, cette réalisation est en silicium ou autre matériau micro-usinable similaire (notamment oxyde de silicium, quartz, « LIGA »®, métal amorphe, ou similaires) : les balanciers-spiraux secondaires et leurs balourds 261 sont monobloc avec le balancier 26 par rapport auquel ils pivotent par des liaisons flexibles, et l'alignement des balourds est l'état au repos de cette structure. Un tel balancier représente aussi une solution de substitution très facile à un balancier existant, pour améliorer les performances chronométriques.

**[0085]** La figure 8 représente un résonateur 1 à diapason 55, fixé à une structure 50, et dont un bras 56 est en contact avec un patin frottant 57 excité à une fréquence double de la fréquence du résonateur à diapason.

**[0086]** La figure 9 illustre un mécanisme résonateur comportant un balancier 26 comportant une virole 7 maintenant un fil de torsion 46, dont un dispositif régulateur 2 commande une variation périodique de la tension avec une fréquence double de celle du résonateur 1 à balancier et fil de torsion.

**[0087]** La figure 10 représente un mécanisme résonateur 1 paramétrique comportant un balancier-spiral 3, dont la spire externe 6 du spiral 4 est fixée à un piton 5, auquel un dispositif régulateur 2 impose un mouvement périodique, ce piton 5 étant mobile en translation, pivotement, et en inclinaison dans l'espace pour vriller le spiral 4 si nécessaire.

**[0088]** La figure 11 représente un autre résonateur 1 à balancier-spiral 3, avec un spiral 4 équipé d'un mécanisme de raquetterie avec une raquette 12 à goupilles

11, avec un système régulateur 2 à bielle-manivelle pour actionner un déplacement continu de la raquette 12, pour une variation continue de la longueur active du spiral 4.

**[0089]** La figure 12 représente, de façon similaire un spiral 4 sur lequel appuie une came 14 entraînée en rotation par un régulateur 2, pour une variation continue de la longueur active du spiral 4 et/ou de la position du point d'attache et/ou de la géométrie du spiral. Cette figure est une représentation simplifiée où une came unique appuie sur le spiral d'un côté seulement ; il est évidemment possible de combiner deux cames agencées pour pincer le spiral 4 de part et d'autre.

**[0090]** La figure 13 représente, de façon similaire, un spiral 4, avec une spire additionnelle 18 fixée à ce spiral et venant en doublure localement avec la courbe terminale 17 du spiral, et un dispositif régulateur 2 actionnant une extrémité 18A de cette spire additionnelle 18.

**[0091]** La figure 14 illustre encore un spiral 4, avec, au voisinage de sa courbe terminale 17, une autre spire 23 qui est maintenue à une première extrémité 24 par un appui 59 manœuvré par un dispositif régulateur 2, et qui est libre à une deuxième extrémité 25 agencée pour venir périodiquement en contact avec la courbe terminale 17 sous l'action du dispositif régulateur 2 sur cet appui.

**[0092]** Les figures 16A et 16B illustrent une modification du centre de gravité du résonateur 1, avec un résonateur à balancier-spiral 3 comportant un balancier 26 porteur de ressorts 72 sensiblement radiaux fixés à la serge et porteurs de masselottes oscillantes 71, similaires à la figure 2, mais certains vers l'intérieur et d'autres vers l'extérieur de la serge. Les effets centripètes ou centrifuges associés permettent la modulation de la position du centre de gravité du résonateur 1.

**[0093]** Les figures 17A et 17B illustrent, de façon analogue à la figure 5, une autre variante de système à balancier 26 à ailettes 80 à pivot flexible 81 permettant de modifier les pertes aérodynamiques et l'inertie.

**[0094]** Les figures 18A à 18 D illustrent une modulation du centre de gravité, sur la base d'un résonateur tel celui de la figure 3 ou de la figure 7, comportant des balanciers-spiraux secondaires 260 à balourd 261 embarqués.

**[0095]** La figure 19 illustre un exemple de réalisation d'oscillateur paramétrique avec une virole 7 de balancier porteuse d'un ressort 72 en silicium porteur d'une masselotte périphérique 71 alourdie par une couche 75 d'or ou d'autre métal lourd obtenue par exemple par dépôt galvanique ou autre, l'ensemble ressort-masselotte oscillant à une fréquence de régulation  $\omega_R$ . Par exemple,  $\omega_0 = 10 \text{ Hz}$  et  $\omega_R = 20 \text{ Hz}$ . La figure 20 montre un balancier 26 où de tels ensembles ressort-masselotte s'étendent depuis la virole 7 jusqu'au plus grand diamètre de la serge.

**[0096]** La figure 21 représente un diapason 55 encastré dans un support 50, et dont une branche 56 est porteuse d'un ensemble balancier-spiral secondaire 260, à balourd excentré 261, monté fou en pivotement sur cette branche 56.

**[0097]** La figure 22 représente un diapason 55 dont

une branche 56 est porteuse d'un ensemble ressort 72/masselotte 71, monté libre en vibration.

**[0098]** L'invention concerne encore, dans un mode de réalisation avantageux, un mécanisme résonateur 1 d'horlogerie à oscillation forcée agencé pour osciller à une fréquence propre  $\omega_0$ , et comportant d'une part au moins un organe oscillant 100, lequel comporte de préférence un balancier 26 ou un diapason 55 ou une lame vibrante, ou similaire, et d'autre part des moyens d'entretien d'oscillation 200 agencés pour exercer un impact et/ou une force et/ou un couple sur cet organe oscillant 100.

**[0099]** Selon l'invention, cet organe oscillant 100 porte au moins un dispositif régulateur 2 oscillant dont la fréquence propre est une fréquence de régulation  $\omega_R$  qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de la fréquence propre  $\omega_0$  dudit mécanisme résonateur 1, cet entier étant supérieur ou égal à 2. Les valeurs particulières de  $\omega_R$  par rapport à la fréquence propre  $\omega_0$  obéissent de préférence aux règles particulières énoncées plus haut.

**[0100]** Dans une première variante, ce dispositif régulateur 2 comporte au moins un balancier-spiral secondaire 260 pivotant autour d'un axe de pivotement secondaire, avec un balourd 261 excentré par rapport à cet axe de pivotement secondaire de ce balancier-spiral secondaire 260, lequel est monté fou en pivotement sur l'organe oscillant 100.

**[0101]** De façon particulière, l'organe oscillant 10 pivote autour d'un axe de pivotement principal, et cet au moins un balancier-spiral secondaire 260 est d'axe secondaire excentré par rapport à l'axe de pivotement principal.

**[0102]** Dans une exécution particulière, le dispositif régulateur 2 comporte au moins un premier balancier-spiral secondaire 260 et un deuxième balancier-spiral secondaire 260 dont les balourds 261, dans un état de repos en l'absence de sollicitation, sont alignés avec les axes de pivotement secondaires des balanciers-spiraux secondaires 260. Et, plus particulièrement, l'organe oscillant 10 pivote autour d'un axe de pivotement principal, et au moins un dit balancier-spiral secondaire 260 est d'axe secondaire excentré par rapport à l'axe de pivotement principal.

**[0103]** Dans une exécution avantageuse qu'autorise la technologie des micro-matériaux, au moins un tel balancier-spiral secondaire 260 pivote autour d'un axe secondaire virtuel que définissent des moyens de maintien élastique que comporte l'organe oscillant 10 pour le maintien du balancier-spiral secondaire 260, et est limité en amplitude de mouvement par rapport à l'organe oscillant 10.

**[0104]** De façon avantageuse, au moins un tel balancier-spiral secondaire 260 est monobloc avec l'organe oscillant 100.

**[0105]** Plus particulièrement, au moins un dit balancier-spiral secondaire 260 est monobloc avec un balancier 26 que comporte l'organe oscillant 100, ou qui cons-

titue cet organe oscillant 100.

**[0106]** Dans une deuxième variante, le dispositif régulateur 2 comporte au moins un ensemble ressort-masselotte comportant une masselotte 71 attachée par un ressort 72 en un point 73 de l'organe oscillant 100.

**[0107]** De façon particulière, l'organe oscillant 10 pivote autour d'un axe de pivotement principal, et au moins un tel ressort 72 s'étend radialement par rapport à cet axe de pivotement principal.

**[0108]** Dans une exécution particulière, l'organe oscillant 10 porte plusieurs tels ensembles ressort-masselotte, dont les ressorts 72 s'étendent radialement par rapport à l'axe de pivotement principal, et dont au moins un premier porte sa masselotte 71 plus éloignée de l'axe de pivotement principal que son ressort 72, et dont au moins un autre porte sa masselotte 71 plus rapprochée de l'axe de pivotement principal que son ressort 72.

**[0109]** De façon particulière, l'organe oscillant 10 pivote autour d'un axe de pivotement principal, et au moins un tel ressort 72 s'étend selon une direction tangentielle au point 73, par rapport à l'axe de pivotement principal.

**[0110]** De façon particulière, au moins un tel ensemble ressort-masselotte est, en-dehors de son point d'attache 73, libre de mouvement par rapport à l'organe oscillant 100.

**[0111]** Dans une exécution particulière, l'ensemble ressort-masselotte est mobile de façon limitée par des moyens de guidage que comporte ledit organe oscillant 100, ou circule dans une piste 74 que comporte ledit organe oscillant 100.

**[0112]** Dans une troisième variante, le dispositif régulateur 2 comporte au moins une ailette 80 ou une lame 84 mobile sous l'effet des variations aérodynamiques et attachée par un pivot 81 ou par une lame élastique ou par un bras 85 à l'organe oscillant 100.

**[0113]** Notamment, dans une réalisation particulière, au moins une ailette 80 ou lame 84 est basculante par rapport au pivot 81 ou à la lame élastique ou au bras 85 qui la supporte.

**[0114]** Dans une réalisation avantageuse qui permet une adaptation facile de l'invention à des mouvements existants, permettant d'améliorer notamment leur performance chronométrique aux coûts les plus bas, l'organe oscillant 100 est un balancier 26 soumis à l'action de moyens d'entretien d'oscillation 200 qui sont des moyens de rappel comportant au moins un spiral 4 et/ou au moins un fil de torsion 46.

**[0115]** Dans une autre réalisation particulière, l'organe oscillant 100 est un diapason 55 dont au moins une branche 56 est soumise à l'action des moyens d'entretien d'oscillation 200.

**[0116]** On comprend que ces différentes variantes, non limitatives, peuvent être combinées entre elles, et/ou avec encore d'autres variantes respectant les principes de l'invention.

**[0117]** L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie 10 comportant au moins un mécanisme résonateur 1 agencé pour osciller autour de sa fréquence

propre  $\omega_0$ . Selon l'invention ce mouvement 10 comporte au moins un dispositif régulateur 2 comportant des moyens agencés pour agir sur ce mécanisme résonateur 1 en imposant une modulation périodique de la fréquence de résonance et/ou du facteur de qualité et/ou du point de repos du mécanisme résonateur 1 avec une fréquence de régulation  $\omega_R$  qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de la fréquence propre  $\omega_0$  dudit mécanisme résonateur 1, cet entier étant supérieur ou égal à 2.

[0118] Dans une première variante, ce mouvement 10 comporte au moins un tel mécanisme résonateur 1, dont l'organe oscillant 100 porte au moins un dit dispositif régulateur 2.

[0119] Dans une deuxième variante, ce mouvement 10 comporte au moins un tel dispositif régulateur 2 distinct d'un tel au moins un mécanisme résonateur 1, et qui agit, ou bien par contact avec au moins un composant de ce mécanisme résonateur 1, ou bien à distance de ce mécanisme résonateur 1 par modulation d'un écoulement aérodynamique ou d'un champ magnétique ou d'un champ électrostatique ou d'un champ électromagnétique.

[0120] Avantageusement ce mécanisme résonateur 1 comporte au moins un composant déformable de rigidité et/ou d'inertie variable, et cet au moins un dispositif régulateur 2 comporte des moyens agencés pour déformer ce composant déformable pour faire varier sa rigidité et/ou son inertie.

[0121] Dans une exécution particulière, cet au moins un dispositif régulateur 2 comporte des moyens agencés pour déformer le mécanisme résonateur 1 et moduler la position du centre de gravité de ce mécanisme résonateur 1.

[0122] Dans une exécution particulière, cet au moins un dispositif régulateur 2 comporte des moyens générateurs de pertes sur au moins un composant de ce mécanisme résonateur 1.

[0123] Dans une exécution avantageuse car très aisée à mettre en oeuvre, le dispositif régulateur 2 comporte des moyens de modulation d'un écoulement aérodynamique au voisinage de l'organe oscillant 100, ces moyens de modulation comportant au moins un patin 83 suspendu à une structure 50 par des moyens de rappel élastique 83.

[0124] L'invention concerne encore une pièce d'horlogerie 30, notamment une montre, comportant au moins un tel mouvement d'horlogerie 10.

[0125] Naturellement l'invention est parfaitement applicable à une autre pièce d'horlogerie telle une horloge. Elle est applicable à tout type d'oscillateur comportant un organe oscillant 100 mécanique, et notamment à un pendule.

[0126] L'excitation à la fréquence  $\omega_R$  telle que définie ci-dessus, et plus particulièrement au double de la fréquence  $\omega_0$ , peut être effectuée avec un signal carré ou impulsif, il n'est pas indispensable d'avoir une excitation sinusoïdale.

[0127] Le régulateur d'entretien n'a pas besoin d'être très précis: son défaut de précision éventuel se traduit seulement par une perte d'amplitude, mais sans variation de la fréquence sauf bien sûr si cette fréquence est très variable, ce qui est à éviter. En fait, ces deux oscillateurs, régulateur d'entretien et résonateur entretenus, ne sont pas couplés, mais l'un des deux entretient l'autre, idéalement (mais non nécessairement) à sens unique.

[0128] Dans une réalisation préférée, il n'y a pas de ressort de couplage entre ce régulateur d'entretien 2 et le résonateur entretenus 1.

[0129] L'invention se distingue des oscillateurs couplés connus par ailleurs par le fait que la fréquence du régulateur soit double ou multiple de la fréquence propre du résonateur (ou du moins très voisine d'un tel multiple), ainsi que par le mode de transfert d'énergie.

## Revendications

1. Procédé d'entretien et de régulation d'un mécanisme résonateur (1) d'horlogerie autour de sa fréquence propre ( $\omega_0$ ), **caractérisé en ce qu'on met en oeuvre au moins un dispositif régulateur (2) agissant sur ledit mécanisme résonateur (1) avec un mouvement périodique, caractérisé en ce que** ledit mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance et/ou du facteur de qualité et/ou du point de repos dudit mécanisme résonateur (1), avec une fréquence de régulation ( $\omega_R$ ) qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de ladite fréquence propre ( $\omega_0$ ), ledit entier étant supérieur ou égal à 2.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'on met en oeuvre au moins un dispositif régulateur (2) agissant sur ledit mécanisme résonateur (1) avec un mouvement périodique, caractérisé en ce que** ledit mouvement périodique impose une modulation périodique au moins de la fréquence de résonance dudit mécanisme résonateur (1), avec une fréquence de régulation ( $\omega_R$ ) qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de ladite fréquence propre ( $\omega_0$ ), ledit entier étant supérieur ou égal à 2.
3. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'on met en oeuvre au moins un dispositif régulateur (2) agissant sur ledit mécanisme résonateur (1) avec un mouvement périodique, caractérisé en ce que** ledit mouvement périodique impose une modulation périodique au moins du facteur de qualité dudit mécanisme résonateur (1), avec une fréquence de régulation ( $\omega_R$ ) qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de ladite fréquence propre ( $\omega_0$ ), ledit entier étant supérieur ou égal à 2.
4. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce**

- qu'on met en oeuvre au moins un dispositif régulateur (2) agissant sur ledit mécanisme résonateur (1) avec un mouvement périodique, **caractérisé en ce que** ledit mouvement périodique impose une modulation périodique au moins du point de repos dudit mécanisme résonateur (1), avec une fréquence de régulation ( $\omega_R$ ) qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de ladite fréquence propre ( $\omega_0$ ), ledit entier étant supérieur ou égal à 2.
- 5
5. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** on met en oeuvre au moins un dispositif régulateur (2) agissant sur ledit mécanisme résonateur (1) avec un mouvement périodique, **caractérisé en ce que** ledit mouvement périodique impose une modulation périodique au moins de la fréquence de résonance et du facteur de qualité dudit mécanisme résonateur (1), avec une fréquence de régulation ( $\omega_R$ ) qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de ladite fréquence propre ( $\omega_0$ ), ledit entier étant supérieur ou égal à 2.
- 10
6. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** on met en oeuvre au moins un dispositif régulateur (2) agissant sur ledit mécanisme résonateur (1) avec un mouvement périodique, **caractérisé en ce que** ledit mouvement périodique impose une modulation périodique au moins du facteur de qualité et du point de repos dudit mécanisme résonateur (1), avec une fréquence de régulation ( $\omega_R$ ) qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de ladite fréquence propre ( $\omega_0$ ), ledit entier étant supérieur ou égal à 2.
- 15
7. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** on met en oeuvre au moins un dispositif régulateur (2) agissant sur ledit mécanisme résonateur (1) avec un mouvement périodique, **caractérisé en ce que** ledit mouvement périodique impose une modulation périodique au moins de la fréquence de résonance et du point de repos dudit mécanisme résonateur (1), avec une fréquence de régulation ( $\omega_R$ ) qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de ladite fréquence propre ( $\omega_0$ ), ledit entier étant supérieur ou égal à 2.
- 20
8. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** on met en oeuvre au moins un dispositif régulateur (2) agissant sur ledit mécanisme résonateur (1) avec un mouvement périodique, **caractérisé en ce que** ledit mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance et du facteur de qualité et du point de repos dudit mécanisme résonateur (1), avec une fréquence de régulation ( $\omega_R$ ) qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de ladite fréquence propre ( $\omega_0$ ), ledit entier étant supérieur ou égal à 2.
- 25
9. Procédé selon l'une des revendications 1, 2, 5, 7, ou 8, **caractérisé en ce que** ledit mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance dudit mécanisme résonateur (1), en agissant sur la rigidité et/ou sur l'inertie dudit mécanisme résonateur (1).
- 10
10. Procédé selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** ledit mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance dudit mécanisme résonateur (1), en imposant une modulation de la rigidité dudit mécanisme résonateur (1) et une modulation d'inertie dudit mécanisme résonateur (1).
- 15
11. Procédé selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** ledit mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance dudit mécanisme résonateur (1), en imposant une modulation de l'inertie dudit mécanisme résonateur (1) par modulation de la masse dudit mécanisme résonateur (1), et/ou par modulation de la forme dudit mécanisme résonateur (1), et/ou par modulation de la position du centre de gravité dudit mécanisme résonateur (1).
- 20
12. Procédé selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** ledit mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance dudit mécanisme résonateur (1), en imposant une modulation de la rigidité d'un moyen de rappel élastique que comporte ledit mécanisme résonateur (1) ou une modulation d'un rappel exercé par un champ magnétique ou électrostatique ou électromagnétique au sein dudit mécanisme résonateur (1).
- 25
13. Procédé selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** ledit mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance dudit mécanisme résonateur (1), en imposant une modulation de la longueur active d'un ressort que comporte ledit mécanisme oscillateur (1), ou une modulation de la section d'un ressort que comporte ledit mécanisme oscillateur (1), ou une modulation du module d'élasticité d'un moyen de rappel que comporte ledit mécanisme résonateur (1), ou une modulation de la forme d'un moyen de rappel que comporte ledit mécanisme résonateur (1).
- 30
14. Procédé selon les revendications 7 et 9, **caractérisé en ce que** ledit mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance dudit mécanisme résonateur (1) en imposant une modulation de la rigidité dudit mécanisme résonateur (1), et une modulation du point de repos dudit mécanisme résonateur (1).
- 35
15. Procédé selon l'une des revendications 1, 3, 5, 6, ou
- 40
- 45
- 50
- 55

- 8, caractérisé en ce que ledit mouvement périodique impose une modulation périodique du facteur de qualité dudit mécanisme résonateur (1), en agissant sur les pertes et/ou l'amortissement et/ou les frottements dudit mécanisme résonateur (1). 5
16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que ledit mouvement périodique impose une modulation périodique du facteur de qualité dudit mécanisme résonateur (1), en agissant sur les pertes aérodynamiques dudit mécanisme résonateur (1), par modulation de la forme dudit mécanisme résonateur (2) et/ou par modification de l'environnement autour dudit mécanisme résonateur (1). 10
17. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que ledit mouvement périodique impose une modulation périodique du facteur de qualité dudit mécanisme résonateur (1), en modulant l'amortissement interne des moyens de rappel élastique que comporte ledit mécanisme résonateur (1). 15
18. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que ledit mouvement périodique impose une modulation périodique du facteur de qualité dudit mécanisme résonateur (1), en modulant les frottements mécaniques au sein dudit mécanisme résonateur (1). 20
19. Procédé selon l'une des revendications 1, 4, 6, 7, ou 8, caractérisé en ce que ledit mouvement périodique impose une modulation périodique du point de repos dudit mécanisme résonateur (1), par modulation de la position de fixation dudit mécanisme résonateur (1) et/ou par modulation de l'équilibre entre les forces de rappel agissant sur ledit mécanisme résonateur (1). 25
20. Procédé selon la revendication 19, caractérisé en ce que ledit mouvement périodique impose une modulation périodique du point de repos dudit mécanisme résonateur (1), par modulation de l'équilibre entre les forces de rappel agissant sur ledit mécanisme résonateur (1) générées par des moyens mécaniques de rappel élastique et/ou des moyens de rappel magnétiques et/ou des moyens de rappel électrostatiques. 30
21. Procédé selon l'une des revendications 1 à 20, caractérisé en ce que ledit mouvement périodique impose une modulation périodique du facteur de qualité dudit mécanisme résonateur (1), et caractérisé en ce qu'on imprime ledit mouvement périodique, à la même fréquence de régulation ( $\omega_R$ ), à la fois à un composant dudit mécanisme résonateur (1) et à un mécanisme générateur de pertes sur au moins un composant dudit mécanisme résonateur (1). 35
22. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit mécanisme régulateur (2) impose une modification périodique de la fréquence dudit mécanisme résonateur (1) ayant une amplitude relative supérieure à l'inverse du facteur de qualité dudit mécanisme résonateur (1). 40
23. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on l'applique à un dit mécanisme résonateur (1) comportant au moins un ensemble balancier-spiral (3) comportant un balancier (26), et en ce qu'on modifie le facteur qualité dudit mécanisme résonateur (1) par la mise en oscillation sous l'action dudit dispositif régulateur (2), de balanciers-spiraux secondaires (260) à fort balourd résiduel montés excentrés sur ledit balancier (26). 45
24. Procédé selon l'une des revendications 1 à 22, caractérisé en ce qu'on l'applique à un dit mécanisme résonateur (1) comportant au moins un balancier (26) comportant une virole (7) maintenant un fil de torsion (46) lequel constitue un moyen de rappel élastique (40) dudit mécanisme résonateur (1), et en ce qu'on fait agir au moins un dit dispositif régulateur (2) en commandant une variation périodique de la tension dudit fil de torsion (46). 50
25. Procédé selon l'une des revendications 1 à 22, caractérisé en ce qu'on l'applique à un dit mécanisme résonateur (1) comportant au moins un diapason et en ce qu'on fait agir au moins un dit dispositif régulateur (2) sur la fixation dudit diapason, ou/et sur un mobile exerçant un appui sur au moins un bras dudit diapason. 55
26. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on utilise ledit dispositif régulateur (2) pour le démarrage et/ou l'entretien dudit mécanisme résonateur (1). 60
27. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on choisit ladite fréquence de régulation ( $\omega_R$ ) à la valeur d'un multiple entier de ladite fréquence propre ( $\omega_0$ ), ledit entier étant supérieur ou égal à 2. 65
28. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite fréquence de régulation ( $\omega_R$ ) est le double de ladite fréquence propre ( $\omega_0$ ). 70
29. Procédé selon l'une des revendications 1 à 26, caractérisé en ce que ladite fréquence de régulation ( $\omega_R$ ) est comprise entre 1.8 fois et 2.2 fois ladite fréquence propre ( $\omega_0$ ). 75
30. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le mouvement périodi-

que du mécanisme régulateur (2) impose la modulation de la fréquence et/ou du facteur de qualité et/ou du point de repos dudit mécanisme résonateur (1) par l'intermédiaire d'une force électrique ou magnétique ou électromagnétique à distance. 5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

**15**

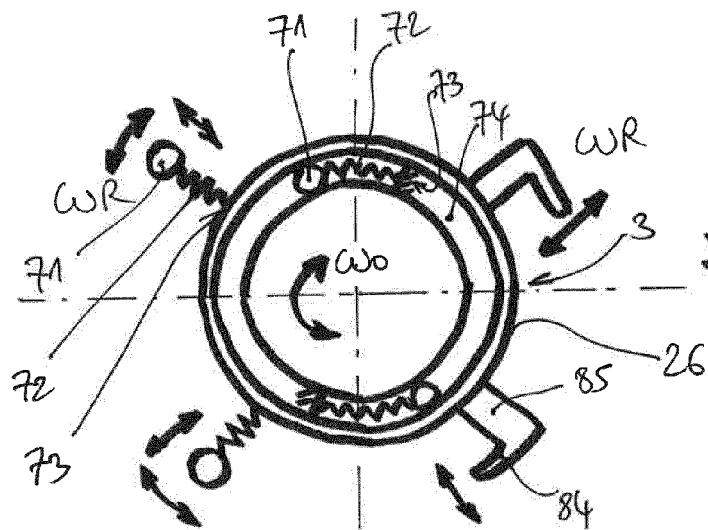


Fig. 1

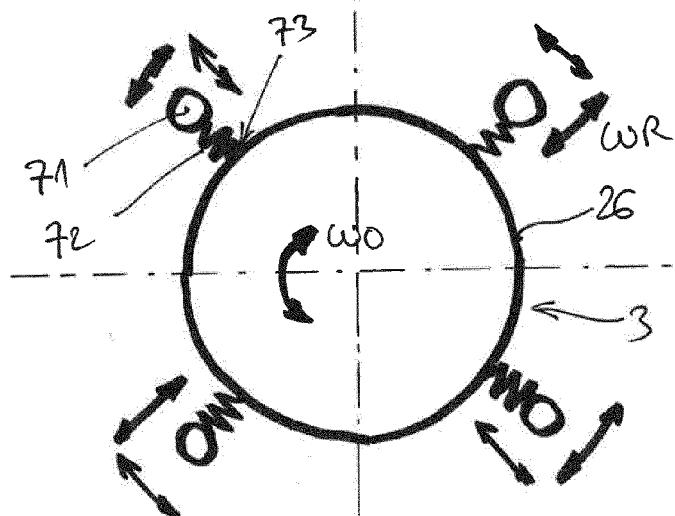


Fig. 2

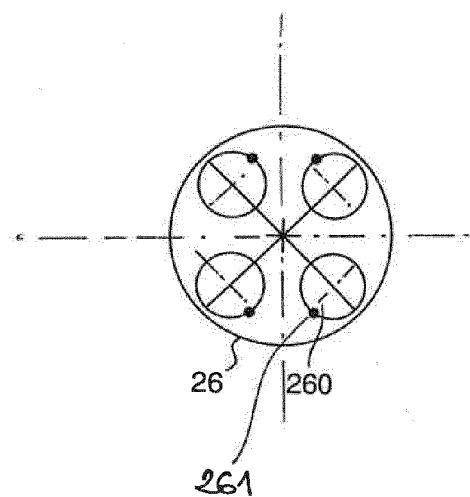


Fig. 3

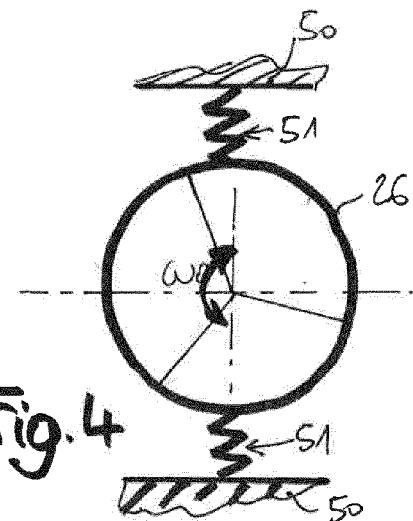


Fig. 4

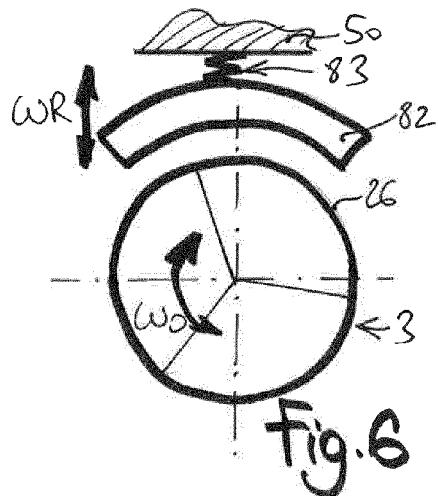


Fig. 6

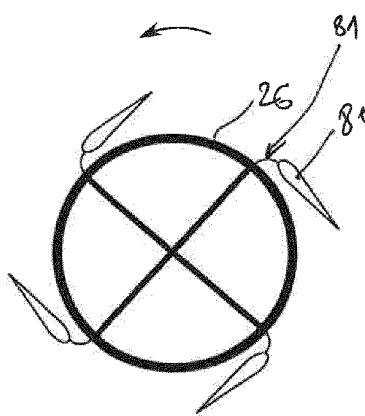


Fig. 5A

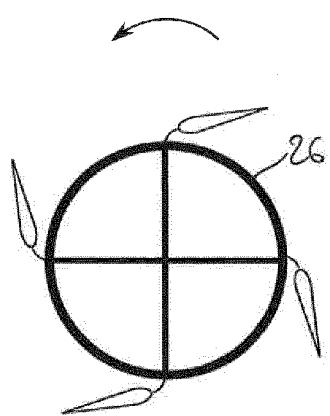


Fig. 5B

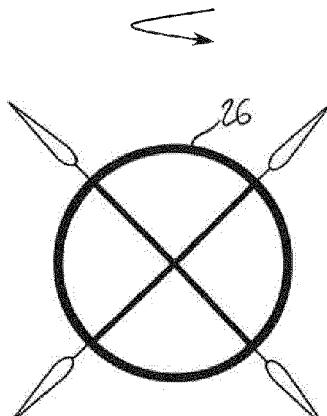


Fig. 5C

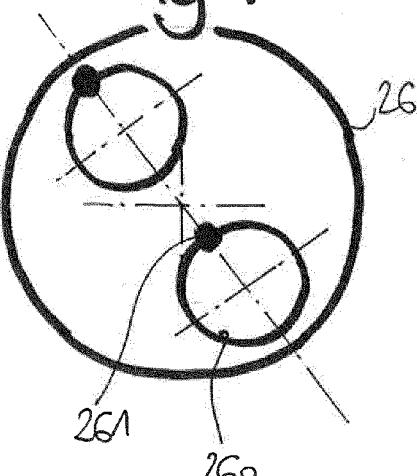


Fig. 7

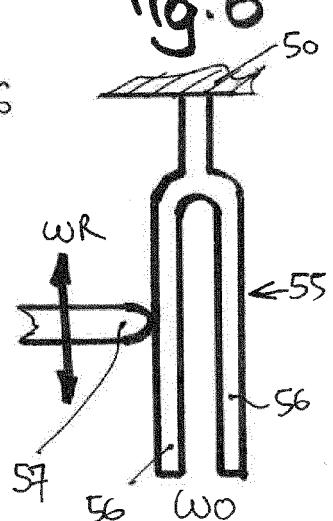


Fig. 8

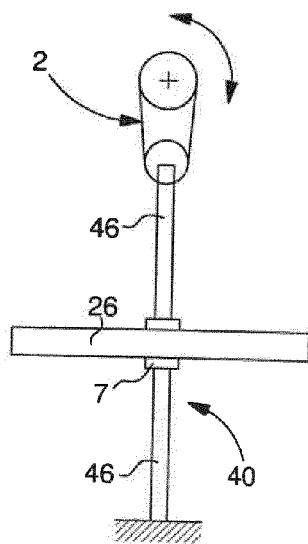


Fig. 9

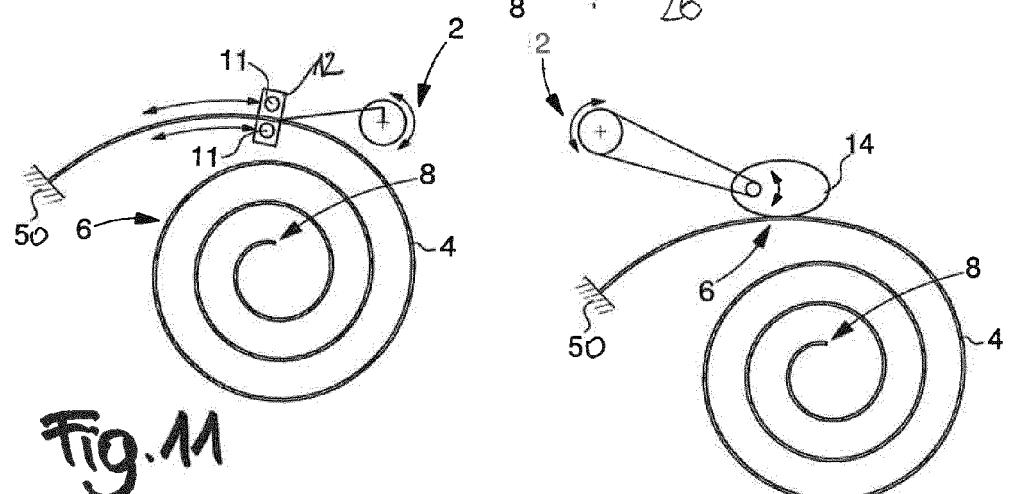
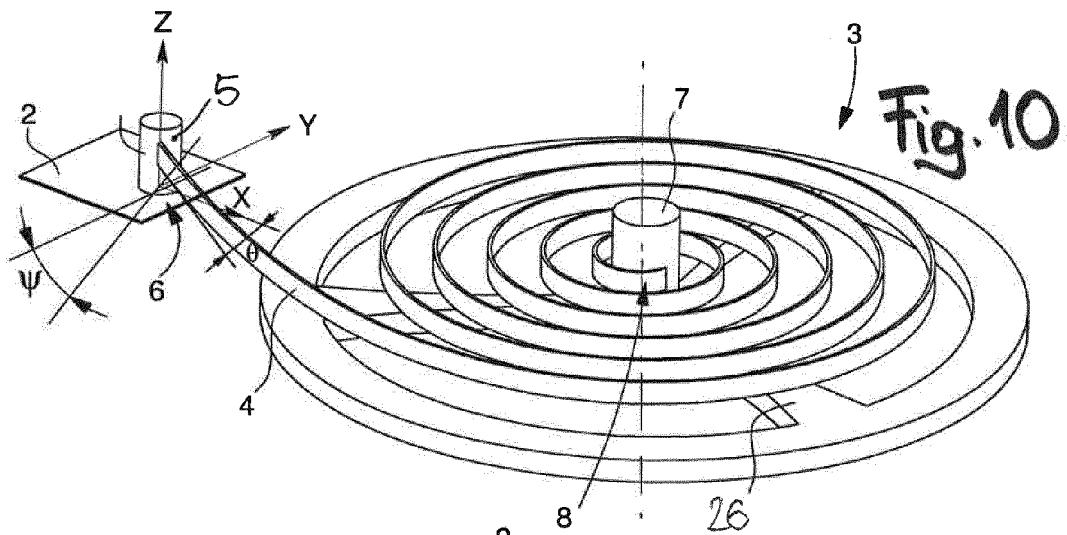


Fig. 11

Fig. 12

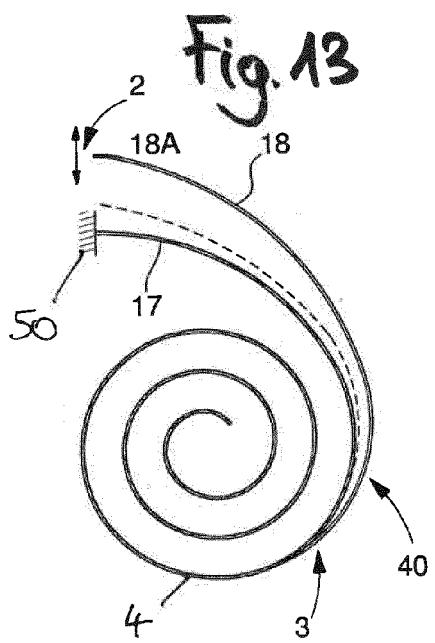
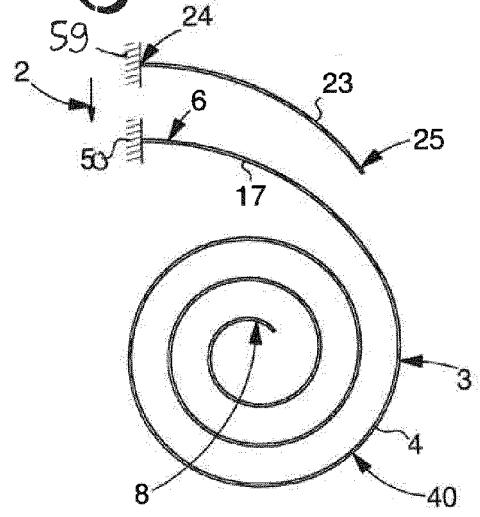


Fig. 13

Fig. 14



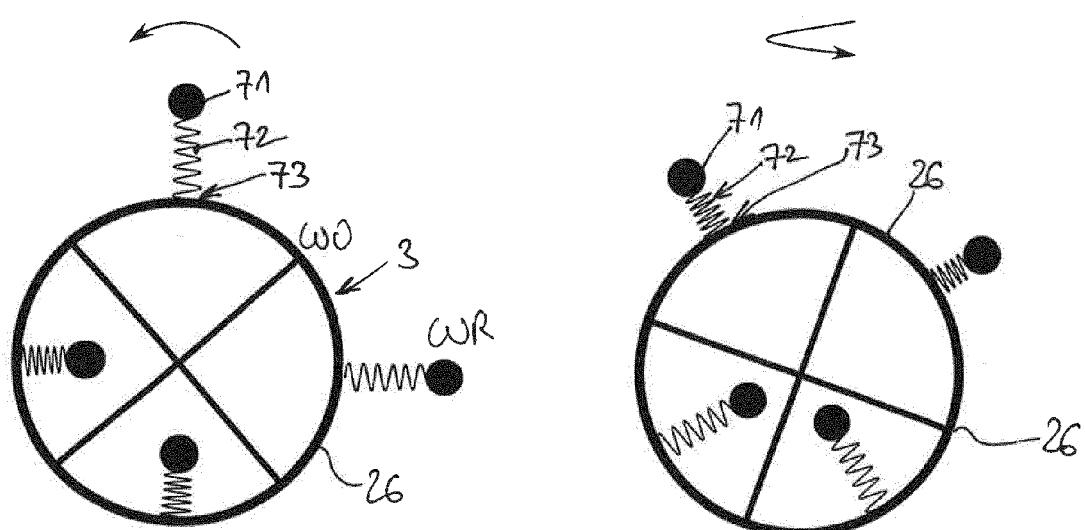
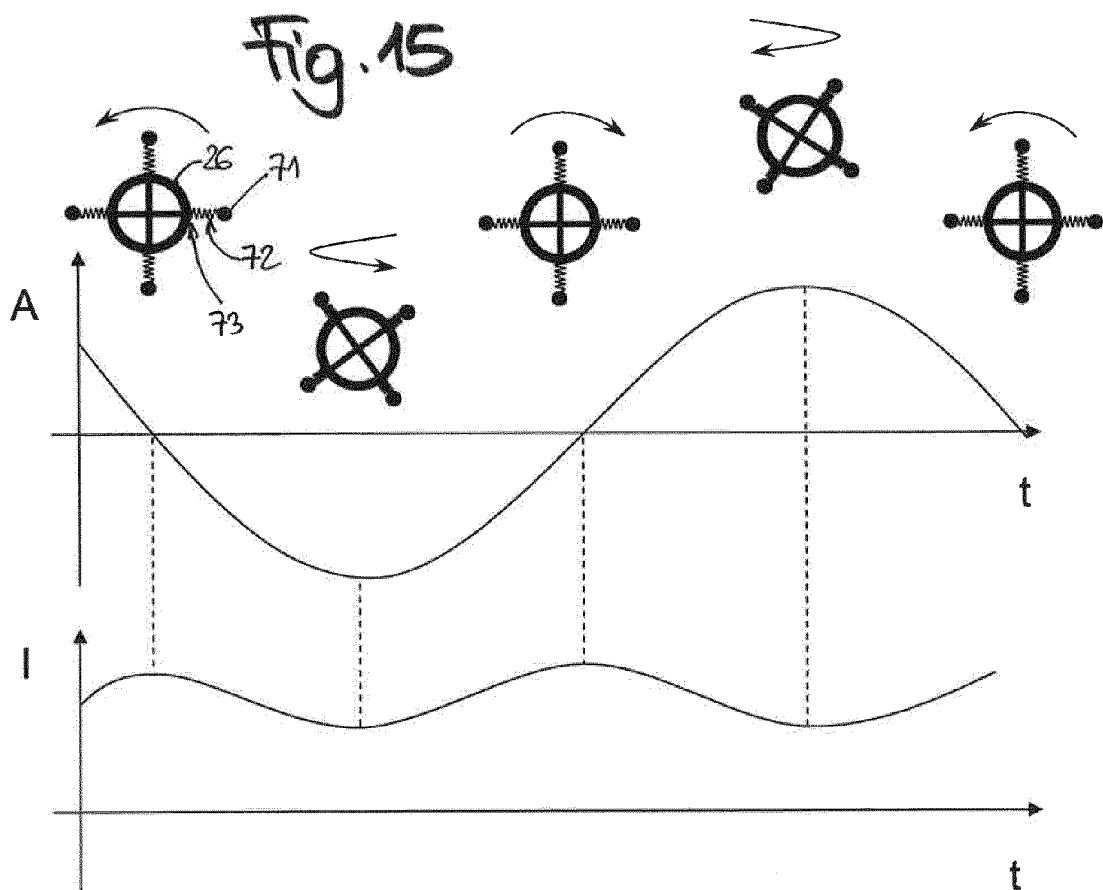


Fig. 16A

Fig. 16B

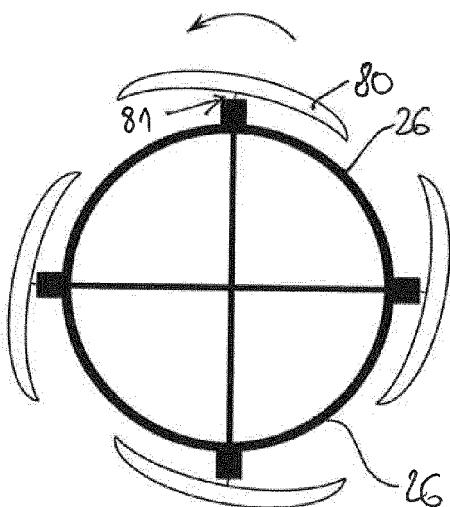


Fig. 17A

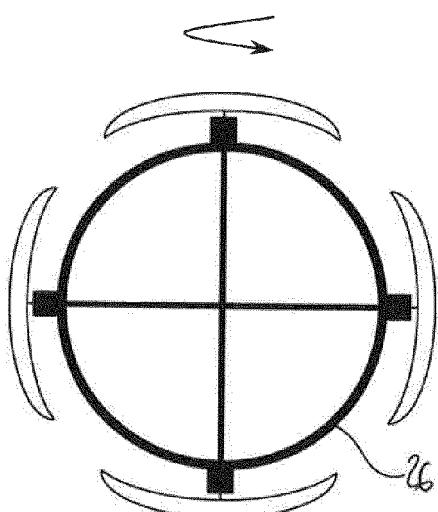


Fig. 17B

Fig. 18A

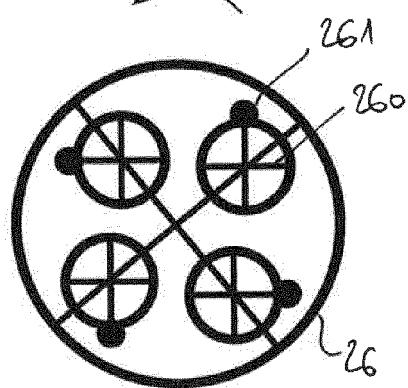


Fig. 18B

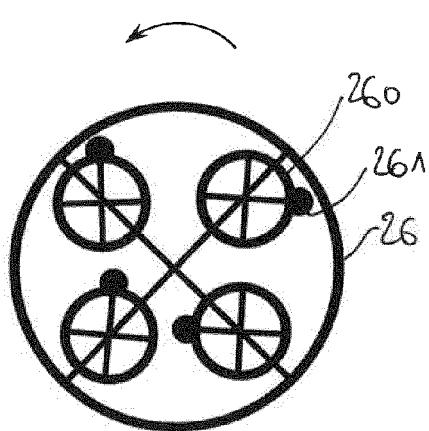
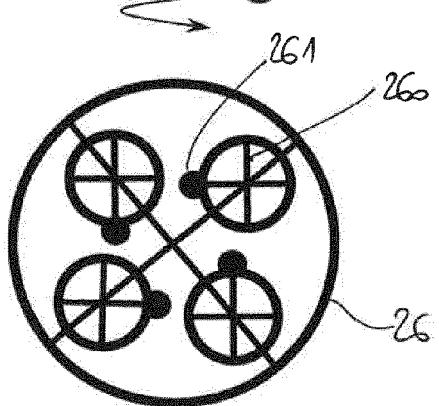


Fig. 18C

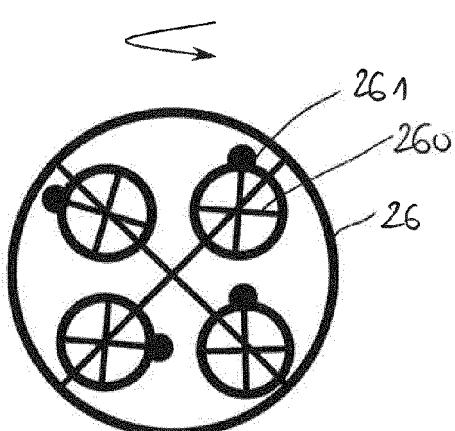


Fig. 18D

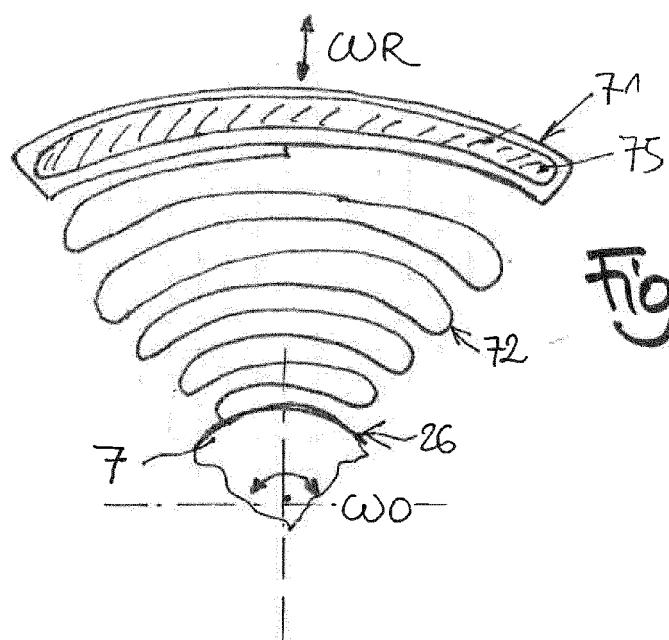
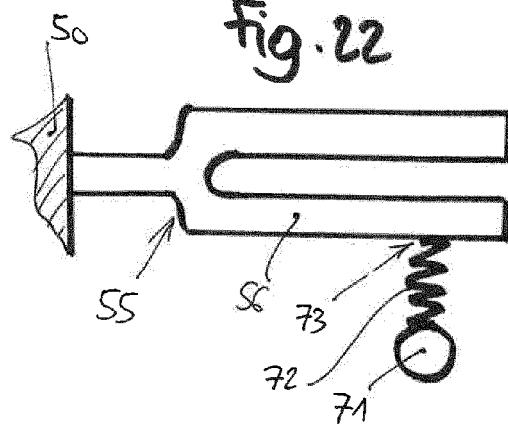
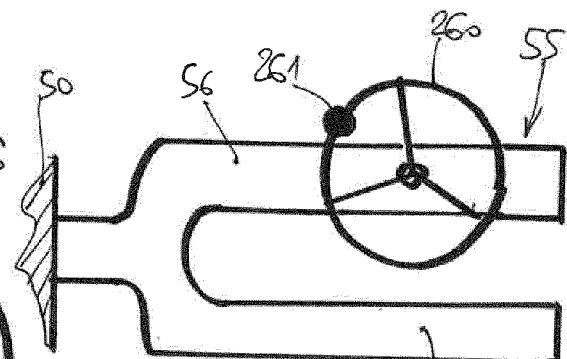
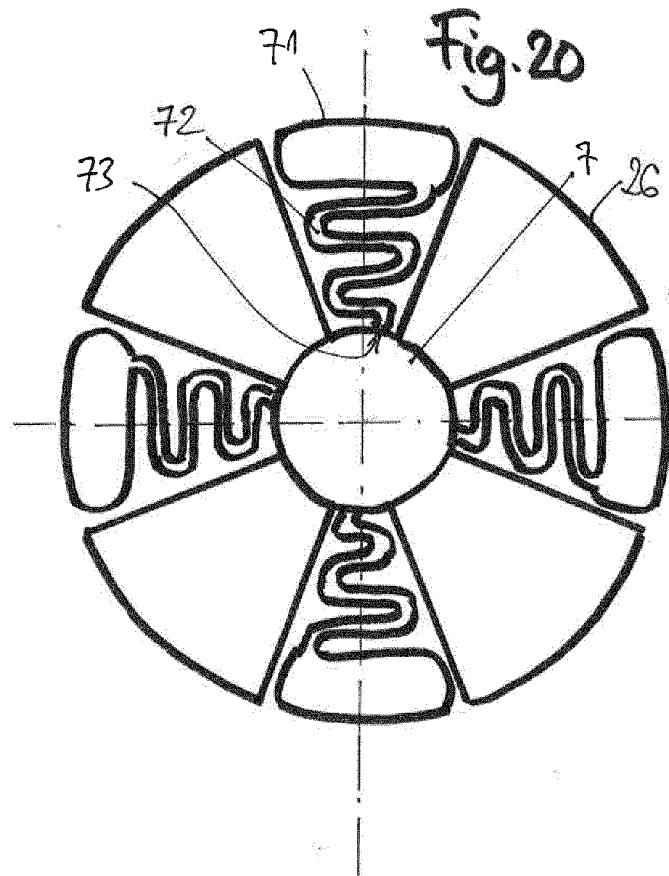
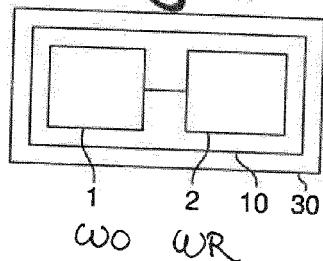


Fig. 19

Fig. 23



5



## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande  
EP 14 15 5425

10

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	
X	EP 1 843 227 A1 (SWATCH GROUP RES & DEV LTD [CH]) 10 octobre 2007 (2007-10-10)	1-14, 19, 20, 22, 26, 27	INV. G04B17/26
A	* abrégé; figures 1-5 * * alinéas [0001], [0004], [0012], [0013], [0019], [0020], [0021], [0023] -----	15-18, 21, 23-25, 28-30	
X	CH 615 314 A3 (PATEK PHILIPPE SA) 31 janvier 1980 (1980-01-31)	1-14, 19-22, 26-30	
A	* abrégé; revendications 1-18; figures 1-13 * * page 4, colonne 1, ligne 28 - page 5, colonne 2, ligne 22 *	15-18, 23-25	
A	EP 2 690 507 A1 (NIVAROX SA [CH]) 29 janvier 2014 (2014-01-29) * abrégé; figures 1-5 * * alinéas [0013], [0020], [0026], [0027], [0028], [0039], [0043], [0044] -----	9, 14	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
A	DE 12 17 883 B (BAEHNI & CO S A) 26 mai 1966 (1966-05-26) * colonne 1, ligne 5-12; figures 5-7 * * colonne 5, ligne 66 - colonne 6, ligne 46; revendication 6 *	12, 30	G04B G04C
A	EP 2 487 547 A1 (MONTRES BREGUET SA [CH]) 15 août 2012 (2012-08-15) * alinéa [0011]; figures 1-9 * * abrégé *	9, 11, 15-18	
A	EP 1 772 791 A1 (SEIKO EPSON CORP [JP]) 11 avril 2007 (2007-04-11) * abrégé; figures 2, 9 *	9, 11, 15-18, 21	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
1	Lieu de la recherche La Haye	Date d'achèvement de la recherche 26 novembre 2014	Examinateur Laeremans, Bart
50	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	
55	EP0 FORM 1503 03.82 (P04C02)		

5  
**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 14 15 5425

10  
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.

15  
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

20  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

26-11-2014

	Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
15	EP 1843227	A1 10-10-2007	AT	472756 T	15-07-2010
			CN	101416127 A	22-04-2009
			EP	1843227 A1	10-10-2007
			EP	2008160 A1	31-12-2008
			HK	1131446 A1	11-01-2013
			JP	4982556 B2	25-07-2012
			JP	2009533917 A	17-09-2009
			KR	20080111523 A	23-12-2008
			US	2010283556 A1	11-11-2010
			WO	2007115985 A1	18-10-2007
20	CH 615314	A3 31-01-1980	-----		
			EP	2690507 A1	29-01-2014
			WO	2014016094 A1	30-01-2014
25	EP 2690507	A1 29-01-2014	-----		
			DE	1217883 B	AUCUN
			-----		
			EP	2487547 A1	15-08-2012
			EP	2487547 A1	15-08-2012
			JP	5463371 B2	09-04-2014
30	EP 2487547	A1 15-08-2012	JP	2012168178 A	06-09-2012
			RU	2012104803 A	20-08-2013
			US	2012207001 A1	16-08-2012
			-----		
			EP	1772791 A1	12-03-2009
35	EP 1772791	A1 11-04-2007	DE	602006000697 T2	11-04-2007
			EP	1772791 A1	12-04-2007
			US	2007079657 A1	12-04-2007
40	EP 1772791	A1 11-04-2007	-----		
			-----		
			-----		
			-----		
			-----		
			-----		
			-----		
			-----		
			-----		
			-----		
45	EP 1772791	A1 11-04-2007	-----		
			-----		
50	EP 1772791	A1 11-04-2007	-----		
			-----		
55	EP 1772791	A1 11-04-2007	-----		
			-----		

EP 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.*

**Littérature non-brevet citée dans la description**

- **W. B. CASE.** The pumping of a swing from the standing position. *Am. J. Phys.*, 1996, vol. 64, 215 **[0018]**
- **D. RUGAR ; P. GRUTTER.** Mechanical parametric amplification and thermomechanical noise squeezing. *PRL*, 1991, vol. 67, 699 **[0024]**
- **A. H. NAYFEH ; D. T. MOOK.** Nonlinear Oscillations. Wiley-Interscience, 1977 **[0024]**