

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

(19) Organisation Mondiale de la  
Propriété Intellectuelle  
Bureau international



WIPO | PCT



(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2014/154511 A2**

(43) Date de la publication internationale  
2 octobre 2014 (02.10.2014)

(51) Classification internationale des brevets : Non classée

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/EP2014/055268

(22) Date de dépôt international :  
17 mars 2014 (17.03.2014)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
13161123.8 26 mars 2013 (26.03.2013) EP

(71) Déposant : MONTRES BREGUET SA [CH/CH]; CH-1344 L'Abbaye (CH).

(72) Inventeurs : ZAUGG, Alain; Derrière-la-Côte 42, CH-1347 Le Sentier (CH). SARCHI, Davide; Place de la Gare 12, CH-1020 Renens (CH). KARAPATIS, Nakis; Rue du Collège 3, CH-1324 Premier (CH). VERARDO, Marco; La Petite Côte 22, CH-2336 Les Bois (CH).

(74) Mandataire : ICB INGÉNIEURS CONSEILS EN BREVETS SA; Fbg de l'Hôpital 3, CH-2001 Neuchâtel (CH).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,

AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

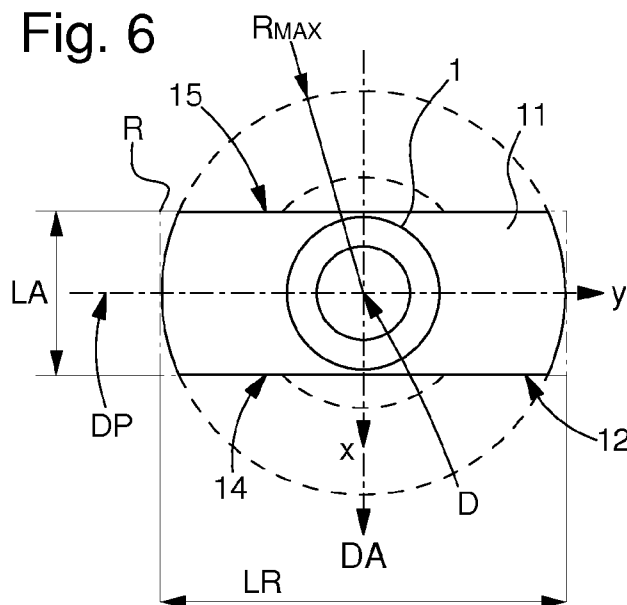
(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport (règle 48.2.g)

(54) Title : TRAIN ARBOR HAVING A SHAPE OPTIMIZED IN A MAGNETIC ENVIRONMENT

(54) Titre : ARBRE DE MOBILE A GÉOMÉTRIE OPTIMISÉE EN ENVIRONNEMENT MAGNÉTIQUE



(57) Abstract : The invention relates to an arbor (1) of a timepiece train (10), comprising a projecting portion (11) having a diameter (RMAX) which is largest around a pivotal movement axis (D). Said projecting portion (11) is defined by two surfaces (14; 15) defining a profile (12) lying within a rectangle (R) having an aspect ratio higher than 2, and a longitudinal direction (LR) defining a main axis (DP). The invention also relates to a timepiece mechanism (20) comprising a train (10) swinging about a rest plane passing through the pivotal movement axis (D). Said train (10) comprises such an arbor (1), made of steel, having a main axis (DP) located at a predetermined angular position relative to the rest plane in the rest position of the train (10), said mechanism (20) having a preferred magnetization direction (DA) that is substantially orthogonal to the main axis (DP) of the arbor (1) in said rest position.

(57) Abrégé : Arbre (1) de mobile (10) d'horlogerie comportant une partie saillante (11) de plus grand rayon (RMAX) autour d'un axe de pivotement (D). Ladite partie saillante (11) est délimitée par deux surfaces (14; 15) définissant un profil (12) inscrit dans un rectangle (R) dont le rapport de forme est supérieur à 2, dont la direction de la longueur (LR)

[Suite sur la page suivante]

WO 2014/154511 A2

---

défini un axe principal (DP). Mécanisme d'horlogerie (20) comportant un mobile (10) oscillant autour d'un plan de repos passant par un axe de pivotement (D). Ce mobile (10) comporte un tel arbre (1) en acier, dont l'axe principal (DP) occupe une position angulaire déterminée par rapport au plan de repos dans la position de repos du mobile (10), ce mécanisme (20) a une direction d'aimantation préférentielle (DA) qui est sensiblement orthogonale à l'axe principal (DP) de l'arbre (1) dans cette position de repos.

Arbre de mobile à géométrie optimisée en environnement magnétique

Domaine de l'invention

5 L'invention concerne un arbre de mobile d'horlogerie destiné à pivoter autour d'un axe de pivotement et comportant au moins une partie saillante de plus grand rayon autour dudit axe de pivotement.

L'invention concerne encore un mobile d'horlogerie comportant un tel arbre, ledit arbre étant en acier, ledit mobile oscillant autour d'une position de repos  
10 définie par un plan de repos passant par ledit axe de pivotement.

L'invention concerne encore un mécanisme comportant un tel mobile rappelé vers ladite position de repos par des moyens de rappel élastique, ledit mécanisme ayant une direction d'aimantation préférentielle.

L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie comportant au  
15 moins un tel mécanisme.

L'invention concerne encore une montre comportant au moins un tel mouvement d'horlogerie, ou/et comportant au moins un tel mécanisme.

L'invention concerne le domaine des mécanismes d'horlogerie, en particulier le domaine des organes réglants, en particulier pour des montres  
20 mécaniques.

Arrière-plan de l'invention

L'organe réglant d'une montre mécanique est constitué par un oscillateur harmonique, le balancier-spiral, dont la fréquence propre d'oscillation dépend  
25 principalement de l'inertie du balancier et de la rigidité élastique du spiral.

Les oscillations du balancier-spiral, autrement amorties, sont entretenues par les impulsions fournies par un échappement généralement composé par un ou deux mobiles pivotants. Dans le cas de l'échappement à ancre suisse, ces mobiles pivotants sont l'ancre et la roue d'échappement. La marche de la montre est  
30 déterminée par la fréquence du balancier-spiral et par la perturbation générée par l'impulsion de l'échappement, qui généralement ralentit l'oscillation propre du balancier-spiral et donc provoque un retard de marche.

La marche de la montre est donc perturbée par tous les phénomènes qui peuvent altérer la fréquence propre du balancier-spiral et/ou la dépendance temporelle de l'impulsion fournie par l'échappement.

En particulier, suite à l'exposition transitoire d'une montre mécanique à un  
5 champ magnétique, des défauts de marche (liés à l'effet résiduel du champ) sont généralement observés. L'origine de ces défauts est la magnétisation permanente des composants ferromagnétiques fixes du mouvement ou de l'habillage et la magnétisation permanente ou transitoire des composants magnétiques mobiles faisant partie de l'organe réglant (balancier-spiral) et/ou de l'échappement.

10 Après l'exposition au champ, les composants mobiles (balancier, spiral, échappement) magnétisés ou perméables magnétiquement sont soumis à un couple magnétostatique et/ou à des forces magnétostatiques. En principe, ces interactions modifient la rigidité apparente du balancier-spiral, la dynamique des mobiles d'échappement et les frottements. Ces modifications produisent un défaut  
15 de marche qui peut aller de quelques dizaines à quelques centaines de secondes par jour.

L'interaction du mouvement horloger avec le champ externe, lors de l'exposition, peut aussi mener à l'arrêt du mouvement. En principe, l'arrêt sous champ et le défaut de marche résiduel ne sont pas corrélés, parce que l'arrêt sous  
20 champ dépend de l'aimantation transitoire, sous-champ, des composants (et donc de la perméabilité et du champ de saturation des composants), tandis que le défaut de marche résiduel dépend de l'aimantation résiduelle (et donc, principalement, du champ coercitif des composants) qui peut être faible même en présence d'une perméabilité magnétique importante.

25 Après l'introduction des spiraux fabriqués en matériaux très faiblement paramagnétiques (par exemple, en silicium), le spiral n'est plus responsable du défaut de marche des montres. Les perturbations magnétiques encore observables pour des champs d'aimantation inférieurs à 1,5 Tesla sont donc dues à l'aimantation de l'arbre de balancier et à l'aimantation des mobiles  
30 d'échappement.

Le corps d'ancre et la roue d'échappement peuvent être fabriqués en matériaux très faiblement paramagnétiques, sans que leur performance mécanique en soit affectée. Au contraire, les arbres des mobiles nécessitent de très bonnes performances mécaniques (bonne tribologie, faible fatigue) pour

permettre un pivotement optimal et constant dans le temps, et il est donc préférable de les fabriquer en acier trempable (typiquement en acier au carbone de type 20AP ou similaire). Or de tels aciers sont des matériaux sensibles aux champs magnétiques parce qu'ils présentent un champ de saturation élevé  
5 combiné à un champ coercitif élevé. Les arbres de balancier, ancre et roue d'échappement sont actuellement les composants les plus critiques face aux perturbations magnétiques de la montre.

En particulier, l'arbre de balancier est le composant le plus sensible pour la chronométrie (effet résiduel), parce qu'un couple perturbateur d'origine magnétique  
10 agissant sur l'arbre modifie directement la fréquence d'oscillation du balancier-spiral, et cette modification est, en principe, illimitée (elle dépend uniquement de l'intensité des champs magnétiques résiduels et de la rigidité du spiral), tandis qu'une perturbation de la fonction d'échappement donne un défaut de marche limité par le retard à l'échappement nominal (la perturbation résultante ne peut pas  
15 être beaucoup plus importante que la perturbation déjà produite par l'échappement en conditions normales).

Le document FR 2 275 815 A1 NIVAROX décrit la fabrication d'un axe de balancier à partir d'un profilé comportant plusieurs ailes réparties autour de l'axe de pivotement., et une variante avec deux ailes curvilignes.

20 Le document FR 2 090 784 A5 FEINMETALL décrit l'assemblage d'un spiral à un balancier comportant une traverse avec deux ailes sensiblement symétriques.

Le document JP S62 63884 A ZENKOSHA TOKEI décrit l'usinage par taillage d'un balancier comportant deux ailes.

25 Le document WO 01/77759 A1 DETRA décrit un dispositif d'échappement comprenant un rouage de transmission d'énergie vers un oscillateur apte à recevoir cette énergie et à transmettre une fréquence d'oscillation, et des premiers moyens aptes à produire au moins une première portion de l'énergie transmise par ce rouage et destinée à alimenter l'oscillateur, où les premiers moyens sont  
30 configurés de manière à fournir un couple mécanique essentiellement variable en fonction de l'angle de déplacement angulaire du rouage, ce couple mécanique présentant au moins une position stable, et au moins une position instable, sur une période de déplacement angulaire du rouage. Dans une réalisation particulière, ces premiers moyens produisent un couple magnétique variable en fonction du

temps, par la combinaison d'un rotor aimanté diamétralement, avec un stator comportant des alvéoles au niveau de son alésage recevant ce rotor.

#### Résumé de l'invention

5 L'invention se propose de limiter l'interaction magnétique sur un arbre de mobile, en particulier sur un arbre de balancier.

A cet effet, l'invention concerne un arbre de mobile d'horlogerie destiné à pivoter autour d'un axe de pivotement et comportant au moins une partie saillante de plus grand rayon autour dudit axe de pivotement, caractérisé en ce qu'au  
10 moins ladite partie saillante est délimitée, de part et d'autre dudit axe de pivotement, par deux surfaces, qui définissent, en projection sur un plan perpendiculaire audit axe de pivotement, un profil inscrit dans un rectangle dont le rapport de la longueur à la largeur définit un rapport de forme qui est supérieur ou égal à 2, la direction de ladite longueur définissant un axe principal.

15 Selon une caractéristique de l'invention, au moins une partie de profil rectangulaire délimité sur deux côtés antagonistes par lesdites deux surfaces, que comporte ledit arbre comporte, comporte au moins une découpe centrée sur ledit axe de pivotement et s'étendant selon une axe principal qui est celle de la longueur dudit rectangle.

20 Selon une caractéristique de l'invention, lesdites deux surfaces sont symétriques par rapport audit axe de pivotement.

Selon une caractéristique de l'invention, lesdites deux surfaces sont planes et parallèles audit axe de pivotement.

L'invention concerne encore un mobile d'horlogerie comportant un tel arbre,  
25 ledit arbre étant en acier, ledit mobile oscillant autour d'une position de repos définie par un plan de repos passant par ledit axe de pivotement, caractérisé en ce que, dans ladite position de repos dudit mobile, ledit axe principal occupe une position angulaire déterminée par rapport audit plan de repos.

30 Selon une caractéristique de l'invention, ledit arbre en acier présente un champ de saturation élevé de valeur supérieure à 1 T, une perméabilité magnétique maximale supérieure à 50, et un champ coercitif supérieur à 3 kA/m.

L'invention concerne encore un mécanisme comportant un tel mobile selon rappelé vers ladite position de repos par des moyens de rappel élastique, ledit mécanisme ayant une direction d'aimantation préférentielle, et caractérisé en ce

- 5 -

que, dans ladite position de repos, ledit axe principal est sensiblement orthogonal à ladite direction d'aimantation préférentielle.

Selon une caractéristique de l'invention, ledit mécanisme est un mécanisme d'échappement, et ledit mobile est un balancier ramené vers ladite position de  
5 repos par au moins un ressort-spiral, et ledit arbre est un arbre de balancier.

L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie comportant au moins un tel mécanisme.

L'invention concerne encore une montre comportant au moins un tel mouvement d'horlogerie, ou/et comportant au moins un tel mécanisme.

10

#### Description sommaire des dessins

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre, en référence aux dessins annexés, où :

15 - la figure 1 représente, sous forme d'un schéma tridimensionnel, une première variante d'arbre de mobile selon l'invention, comportant des usinages de révolution autour d'un axe de pivotement, dont une partie saillante de plus grand encombrement radial que les autres, cet arbre comportant deux surfaces latérales symétriques par rapport à cet axe de pivotement, et à une distance l'une de l'autre  
20 telle que le rapport de forme de cette partie saillante, en projection selon un plan perpendiculaire à l'axe de pivotement, est supérieur à 2, et où la plus grande dimension, dite « axe principal » s'étend de façon sensiblement orthogonale à une direction d'aimantation préférentielle de l'environnement immédiat du mobile ;

- la figure 2 représente, de façon similaire à la figure 1, une deuxième  
25 variante d'arbre de mobile selon l'invention, où la partie saillante est de profil rectangulaire avec un rapport de forme supérieur à 2, et où certaines parties constituant des support d'autres composants sont également de profil rectangulaire ;

- la figure 3 représente une variante de la figure 2, où la partie saillante et  
30 une autre partie de profil rectangulaire comportent des découpes s'étendant selon leur plus grand dimension ;

- la figure 4 représente, de façon schématisée, en vue de bout selon la direction de l'axe principal de l'arbre de la figure 2, et avec une coloration grisée d'autant plus intense que le champ rémanent est élevé, après son exposition à un

champ magnétique selon la direction d'aimantation préférentielle de l'environnement du mobile;

- la figure 5 illustre, sous forme d'un graphe, la comparaison des couples magnétiques exercés sur un arbre de balancier traditionnel selon le graphe GT représenté en trait interrompu, et sur un arbre optimisé selon l'invention selon le graphe GO est représenté en trait continu. En abscisse figure l'angle en degrés, et en ordonnée le couple exercé sur le balancier, en mN.mm ;

- la figure 6 est une vue de bout, selon la direction de l'axe de pivotement, d'un arbre selon la figure 1, et illustré comme la transformation d'un arbre entièrement de révolution et de plus grand rayon RMAX;

- la figure 7 représente, sous forme d'un schéma-blocs, une pièce d'horlogerie, comportant un mouvement comportant un mécanisme comportant un mobile équipé d'un arbre selon l'invention ;

- la figure 8 est un diagramme de marche, avec en abscisse l'amplitude en degrés, et en ordonnée l'écart de marche en secondes par jour, pour différentes valeurs de l'angle existant entre la direction préférentielle d'aimantation du mouvement et celle de l'axe principal de l'arbre de balancier.

#### Description détaillée des modes de réalisation préférés

L'invention plus particulièrement le domaine des organes réglants d'horlogerie pour des montres mécaniques.

L'invention se propose de limiter l'interaction magnétique sur un arbre de mobile, en particulier sur un arbre de balancier.

L'invention concerne ainsi un arbre de mobile à géométrie optimisée en environnement magnétique.

Par convention, on appelle, dans la présente description « axe » un élément géométrique virtuel tel qu'un axe de pivotement, et « arbre » un élément mécanique réel, réalisé en une ou plusieurs parties. Par exemple, une paire de pivots alignés et rapportés de part et d'autre d'une partie médiane d'un mobile, pour le guider en pivotement est aussi dénommée « arbre ».

L'invention peut permettre à des montres avec spiral, corps d'ancre et roue d'échappement amagnétiques de résister, sans s'arrêter, à des champs magnétiques d'intensité élevée, de l'ordre de 0,5 Tesla, sans que les performances mécaniques (chronométrie et vieillissement des mobiles) soient affectées.

La mise en œuvre de l'invention permet de réduire l'effet résiduel des montres avec spiral, corps d'ancre et roue d'échappement amagnétiques à moins de une seconde par jour.

Par convention, on appelle, dans la présente description « axe » un élément géométrique virtuel tel qu'un axe de pivotement, et « arbre » un élément mécanique réel, réalisé en une ou plusieurs parties. Par exemple, une paire de pivots 2A et 2B alignés et rapportés de part et d'autre d'une partie médiane 6 d'un mobile 10, pour le guider en pivotement est aussi dénommée « arbre ».

Dans la suite de l'exposé, on définit par matériaux « perméables magnétiquement », des matériaux qui ont une perméabilité relative comprise entre 10 et 10000, comme des aciers, qui ont une perméabilité relative voisine de 100 pour des arbres de balanciers par exemple, ou voisine de 4000 pour les aciers utilisés couramment dans les circuits électriques, ou encore d'autres alliages dont la perméabilité relative atteint des valeurs de 8000 à 10000.

On appellera matériaux « magnétiques », par exemple dans le cas de masses polaires, des matériaux aptes à être aimantés de façon à présenter un champ rémanent compris entre 0,1 et 1,5 Tesla, comme par exemple le « Neodymium Iron Boron » d'une densité d'énergie magnétique  $E_m$  voisine de 512 kJ/m<sup>3</sup> et donnant un champ rémanent de 0,5 à 1,3 Tesla. Un niveau de champ rémanent inférieur, vers la partie inférieure de la fourchette peut être utilisé en cas de combinaison, dans un couple d'aimantation, d'un tel matériau magnétique avec un composant antagoniste perméable magnétiquement de perméabilité élevée, plus proche de 10000, dans la fourchette de 100 à 10000.

On appellera matériaux « ferromagnétiques » des matériaux dont les caractéristiques sont : champ de saturation  $B_s > 0$  à la température  $T = 23^\circ\text{C}$ , champ coercitif  $H_c > 0$  à la température  $T = 23^\circ\text{C}$ , perméabilité magnétique maximale  $\mu_R > 2$  à la température  $T = 23^\circ\text{C}$ , température de Curie  $T_c > 60^\circ\text{C}$ .

Plus particulièrement, on qualifiera de « faiblement ferromagnétiques » ceux dont les caractéristiques sont : champ de saturation  $B_s < 0,5$  T à la température  $T = 23^\circ\text{C}$ , champ coercitif  $H_c < 1'000$  kA/m à la température  $T = 23^\circ\text{C}$ , perméabilité magnétique maximale  $\mu_R < 10$  à la température  $T = 23^\circ\text{C}$ , température de Curie  $T_c > 60^\circ\text{C}$ .

Plus particulièrement, on qualifiera de « fortement ferromagnétiques » ceux dont les caractéristiques sont : champ de saturation  $B_s > 1$  T à la température  $T =$

23°C, champ coercitif  $H_c > 3'000$  kA/m à la température  $T = 23^\circ\text{C}$ , perméabilité magnétique maximale  $\mu_R > 50$  à la température  $T = 23^\circ\text{C}$ , température de Curie  $T_c > 60^\circ\text{C}$ .

On appellera matériaux « paramagnétiques » des matériaux de perméabilité magnétique relative comprise entre 1,0001 et 100, par exemple pour des entretoises interposées entre un matériau magnétique et un composant antagoniste perméable magnétiquement, ou encore entre deux matériaux magnétiques, par exemple une entretoise entre un composant et une masse polaire. Par exemple, des matériaux faiblement paramagnétiques (perméabilité magnétique inférieure à 2) sont le CoCr20Ni16 Mo7, connu notamment sous le nom de « Phynox® » ou le nickel-phosphore NiP (soit avec concentration de phosphore 12% mais durci, soit avec concentration de phosphore inférieure à 12%).

On appellera matériaux « diamagnétiques » des matériaux de perméabilité magnétique relative inférieure à 1 (susceptibilité magnétique négative, inférieure ou égale à  $-10^{-5}$ ), tels que graphite ou graphène.

On appellera enfin matériaux « magnétiques doux », pour ne pas dire amagnétiques, notamment pour des blindages, des matériaux ayant une perméabilité élevée mais une haute saturation, car on ne veut pas qu'ils soient aimantés de manière permanente: ils doivent conduire le mieux possible le champ, de manière à réduire le champ à leur extérieur. De tels composants peuvent alors protéger aussi un système magnétique des champs externes. Ces matériaux sont choisis de préférence de perméabilité magnétique relative comprise entre 50 et 200, et avec un champ de saturation supérieur à 500 A/m.

Des matériaux qualifiés d'« amagnétiques », ont quant à eux une perméabilité magnétique relative très légèrement supérieure à 0.9999, et inférieure à 1.0001, comme typiquement l'aluminium, le laiton, le silicium, le diamant, le platine et similaires. Ces matériaux peuvent en général être obtenus par des technologies MEMS ou par le procédé « LIGA ».

L'invention concerne un arbre 1 d'horlogerie, pour un mobile 10, et optimisé pour le fonctionnement de ce mobile 10 dans un environnement où règne un champ magnétique résiduel selon une direction d'aimantation préférentielle DAP.

Précisons que cet arbre 1 est un élément axial pivotant, qui sert de support à d'autres composants: plateau, collerette, virole, balancier, mais qui n'est pas

constitué par ces autres composants, qui sont chassés, collés, soudés, brasés, ou appuyés sur l'arbre, ou encore maintenus par d'autres procédés. Les caractéristiques présentées ci-après concernent cet arbre 1 seul.

On appelle ici propriétés magnétiques intrinsèques l'ensemble des  
5 grandeurs suivantes : perméabilité, champ de saturation, champ coercitif, température de Curie, courbe d'hystérèse dépendante. L'aimantation ne fait pas partie de ces propriétés magnétiques intrinsèques. Le profil d'aimantation d'un tel arbre après aimantation ne dépend pas uniquement des propriétés magnétiques intrinsèques mais il dépend notamment de la source de champ magnétique qui l'a  
10 aimanté ainsi que de la forme et de la taille dudit arbre. Par exemple, l'arbre peut présenter une aimantation non-uniforme même si les propriétés magnétiques intrinsèques sont uniformes.

Rappelons qu'un composant ne peut pas devenir, par exemple, ferromagnétique après avoir été soumis à un champ magnétique : une matière est  
15 soit ferromagnétique, soit paramagnétique, antiferromagnétique ou diamagnétique. La température peut modifier cette caractéristique mais elle ne peut pas être modifiée par un champ externe. Il convient de bien différencier l'aimantation des propriétés magnétiques intrinsèques de la matière.

Dans la suite de l'exposé, on définit par matériaux « perméables magnétiquement », des matériaux qui ont une perméabilité relative comprise entre  
20 10 et 10000, comme des aciers, qui ont une perméabilité relative voisine de 100 pour des arbres de balanciers par exemple, ou voisine de 4000 pour les aciers utilisés couramment dans les circuits électriques, ou encore d'autres alliages dont la perméabilité relative atteint des valeurs de 8000 à 10000.

On appellera matériaux « magnétiques », par exemple dans le cas de masses polaires, des matériaux aptes à être aimantés de façon à présenter un champ rémanent compris entre 0,1 et 1,5 Tesla, comme par exemple le « Neodymium Iron Boron » d'une densité d'énergie magnétique  $E_m$  voisine de 512 kJ/m<sup>3</sup> et donnant un champ rémanent de 0,5 à 1.3 Tesla. Un niveau de champ  
30 rémanent inférieur, vers la partie inférieure de la fourchette peut être utilisé en cas de combinaison, dans un couple d'aimantation, d'un tel matériau magnétique avec un composant antagoniste perméable magnétiquement de perméabilité élevée, plus proche de 10000, dans la fourchette de 100 à 10000.

On appellera matériaux « ferromagnétiques » des matériaux dont les caractéristiques sont : champ de saturation  $B_s > 0$  à la température  $T = 23^\circ\text{C}$ , champ coercitif  $H_c > 0$  à la température  $T = 23^\circ\text{C}$ , perméabilité magnétique maximale  $\mu_R > 2$  à la température  $T = 23^\circ\text{C}$ , température de Curie  $T_c > 60^\circ\text{C}$ .

5 Plus particulièrement, on qualifiera de « faiblement ferromagnétiques » ceux dont les caractéristiques sont : champ de saturation  $B_s < 0,5$  T à la température  $T = 23^\circ\text{C}$ , champ coercitif  $H_c < 1'000$  kA/m à la température  $T = 23^\circ\text{C}$ , perméabilité magnétique maximale  $\mu_R < 10$  à la température  $T = 23^\circ\text{C}$ , température de Curie  $T_c > 60^\circ\text{C}$ .

10 La possibilité d'utiliser des matériaux ferromagnétiques ayant des caractéristiques spécifiques permet de satisfaire simultanément la demande de tenue mécanique, résistance magnétique, et fabricabilité des composants.

Plus particulièrement, on qualifiera de « fortement ferromagnétiques » ceux dont les caractéristiques sont : champ de saturation  $B_s > 1$  T à la température  $T =$   
15  $23^\circ\text{C}$ , champ coercitif  $H_c > 3'000$  kA/m à la température  $T = 23^\circ\text{C}$ , perméabilité magnétique maximale  $\mu_R > 50$  à la température  $T = 23^\circ\text{C}$ , température de Curie  $T_c > 60^\circ\text{C}$

On appellera matériaux « paramagnétiques » des matériaux de perméabilité magnétique relative comprise entre 1.0001 et 100, par exemple pour  
20 des entretoises interposées entre un matériau magnétique et un composant antagoniste perméable magnétiquement, ou encore entre deux matériaux magnétiques, par exemple une entretoise entre un composant et une masse polaire. Des matériaux faiblement paramagnétiques, ayant perméabilité magnétique comprise entre 1.01 et 2, sont utilisables pour la mise en œuvre de  
25 l'invention. Des matériaux comme le CoCr20Ni16 Mo7, connu notamment sous le nom de « Phynox® » ou le nickel-phosphore NiP (soit avec concentration de phosphore 12% mais durci, soit avec concentration de phosphore inférieure à 12%) sont faiblement paramagnétiques, donc utilisables pour la mise en œuvre de l'invention.

30 L'utilisation de matières amagnétiques (perméabilité magnétique inférieure à 1.01), est très limitante, parce que ces matériaux sont soit difficilement usinables, soit mécaniquement inadaptés aux fonctions demandées (et donc demandent un revêtement ou une procédure de durcissement les rendant ferromagnétiques), ce qui explique pourquoi la première montre résistante à 15'000 Gauss a été

présentée seulement en 2013. Par exemple, des matériaux amagnétiques sont : aluminium, or, laiton ou similaire.

On appellera matériaux «diamagnétiques » des matériaux de perméabilité magnétique relative inférieure à 1 (susceptibilité magnétique négative, inférieure  
5 ou égale à  $-10^{-5}$ ), tels que graphite ou graphène.

On appellera enfin matériaux «magnétiques doux», pour ne pas dire amagnétiques, notamment pour des blindages, des matériaux ayant une perméabilité élevée mais une haute saturation, car on ne veut pas qu'ils soient aimantés de manière permanente: ils doivent conduire le mieux possible le champ,  
10 de manière à réduire le champ à leur extérieur. De tels composants peuvent alors protéger aussi un système magnétique des champs externes. Ces matériaux sont choisis de préférence de perméabilité magnétique relative comprise entre 50 et 200, et avec un champ de saturation supérieur à 500 A/m.

Des matériaux qualifiés d'«amagnétiques », ont quant à eux une perméabilité magnétique relative très légèrement supérieure à 1, et inférieure à  
15 1.0001, comme typiquement le silicium, le diamant, le palladium et similaires. Ces matériaux peuvent en général être obtenus par des technologies MEMS ou par le procédé « LIGA ».

Pour revenir à la notion de direction d'aimantation préférentielle DAP, nous croyons utile de préciser que cette direction est due à la construction d'un  
20 mécanisme, et n'a rien à voir avec les champs auquel est soumis ce mécanisme. Il ne faut pas confondre une direction d'aimantation imposée d'un composant, par exemple d'un rotor de moteur (qui est un aimant permanent), avec une direction d'aimantation préférentielle d'une pièce ferromagnétique: un aimant permanent  
25 peut avoir une direction d'aimantation complètement différente de la direction d'aimantation préférentielle (les deux pourraient même être orthogonales, comme pour des aimants permanents en forme de disque aimantés axialement). Pour poursuivre sur l'exemple du moteur électrique, un composant peut ne pas avoir de direction d'aimantation préférentielle, comme le stator qui a une géométrie  
30 quasiment symétrique.

Dans une réalisation préférée et décrite ci-après en détail et illustrée par les figures, ce mobile 10 est un balancier, faisant partie d'un ensemble balancier-spiral usuel en horlogerie. L'homme du métier saura extrapoler l'invention à d'autres

- 12 -

mobiles horlogers pour lesquels il souhaite se soustraire à l'influence d'un champ magnétique résiduel.

La géométrie d'un arbre 1 de balancier 10 usuel, relativement standard dans l'industrie horlogère, n'est pas optimisée pour limiter son aimantation sous un champ externe. En fait, la partie médiane 6 de l'arbre 1, ayant un plus grand rayon RMAX, est fortement aimantée par un champ magnétique orthogonal ou oblique par rapport à la direction de l'axe de pivotement D. A cause de cette aimantation, en présence d'un champ environnemental (champ externe ou créé par les composants magnétisés du mouvement ou de la montre), l'arbre 1 est soumis à un couple magnétique important.

De préférence, cet arbre est un composant ferromagnétique, notamment en acier, et est dans un état initial désaimanté (et ne pourra dans aucun cas être utilisé comme aimant permanent). En effet, l'invention participe à la suppression des perturbations magnétiques du mouvement horloger, et l'invention permet de réduire ou supprimer toute aimantation accidentelle éventuelle au niveau de l'arbre.

Le balancier 10 fait partie d'un mécanisme d'échappement 20, dans un mouvement 30 d'une montre 40.

L'invention se propose de modifier la géométrie de l'arbre 1 de balancier, en modifiant le rapport de forme de la partie dite saillante 11, qui est la partie de plus grand encombrement radial de cet arbre de balancier, en lui donnant, en projection sur un plan perpendiculaire à l'axe de pivotement D de l'arbre 1 du balancier 10, un rapport de forme très différent de 1, de préférence supérieur ou égal à 2.

L'idée est de réduire une des deux dimensions x ou y (en projection dans un plan perpendiculaire à l'axe de pivotement D), la manière la plus simple est de limiter localement l'arbre 1 par deux surfaces 14, 15, sensiblement parallèles à l'axe D, lesquelles surfaces 14 et 15 sont de préférence deux plans parallèles à l'axe D ; en effet, si les surfaces, notamment les plans, ne sont pas parallèles, il reste alors une partie plus large qui peut s'aimanter davantage que le reste. Ces deux surfaces 14 et 15 sont de préférence très proches l'une de l'autre, pour réduire l'aimantation dans cette direction, et pour bien définir une seule direction privilégiée d'aimantation dans le plan xy.

- 13 -

De préférence, et tel que visible sur les figures, ces deux surfaces 14 et 15 sont symétriques par rapport à l'axe de pivotement D de l'arbre 1.

Les parties saillantes sont orientées avec leurs axes principaux parallèles entre eux.

5           La projection de cette partie saillante 11 selon un plan perpendiculaire à l'axe de pivotement D du balancier 10, a un profil 12, qui s'inscrit dans un rectangle R symétrique par rapport à deux axes orthogonaux, dont un axe principal DP selon lequel s'étend la plus grande dimension de cette partie saillante 11. Le rapport de  
10           forme est le rapport entre les deux dimensions du rectangle, longueur LR et largeur LA.

De ce fait, après transformation, l'arbre 1 de balancier n'a plus de symétrie de révolution.

          Selon l'invention, en position de repos du balancier, cet axe principal DP, selon lequel s'étend la plus grande dimension de cette partie saillante 11 se trouve  
15           en position sensiblement orthogonale par rapport à la direction d'aimantation préférentielle DA de l'environnement du mouvement. Par « sensiblement orthogonal » on entend un angle compris entre 80° et 100°; de façon particulière, l'angle est de 90°. Cette direction préférentielle DA est généralement déterminée  
20           par des ponts, des barrettes, des vis, ou similaires; elle dépend directement de la construction et généralement elle est assez évidente, par l'examen du facteur de forme des composants en acier près de l'axe; dans des situations ambiguës, il suffit de réaliser une simulation par éléments finis ou par charges équivalentes pour la déterminer facilement.

          Cette position dite « de repos » du balancier correspond à celle qu'il occupe  
25           quand le spiral est au repos : c'est la position dans laquelle le mouvement est le moins souvent, mais, comme expliqué dans la suite de l'exposé, c'est la position moyenne et, pour les champs externes très intenses, c'est la position qui définit l'aimantation résultante.

          Dans une réalisation particulière, le plateau du balancier a sa plus grande  
30           dimension perpendiculaire à la ligne d'échappement, ce qui permet de maximiser les effets de surface face aux effets de volume, de manière à réduire au minimum l'aimantation dans la direction du champ et, partant, les effets « boussole » qui créent un couple perturbateur.

La combinaison de la fabrication de l'arbre 1 selon un tel profil 12, avec l'orientation sensiblement orthogonale de son axe principal DP par rapport à la direction d'aimantation préférentielle DA, est appelée « géométrie magnétiquement optimisée ».

5 Plusieurs variantes sont illustrées par les figures.

La figure 1 montre un arbre 1 de balancier avec une géométrie magnétiquement optimisée réaliste. Les parties les plus larges, qui sont utilisées comme support, ont un rapport de forme important, la dimension la plus grande étant orientée avec son axe principal DP dans la direction sensiblement  
10 orthogonale à la direction d'aimantation préférentielle DA de l'environnement du mouvement. Cet arbre 1 est dessiné sur une base classique d'arbre de balancier, avec des portées tournées de pivots, de supports: d'appui de virole, de serge, d'assiette, de double plateau, ou autres. Sur cet exemple, la partie de plus grand diamètre 11 sert d'appui à une face d'une serge 50, non représentée sur la figure,  
15 l'arbre 1 comportant une portée 13 de centrage de cette serge; le profil 12 est ici réalisé par usinage, notamment par fraisage ou tournage, ou similaire, de deux surfaces antagonistes 14 et 15, tel que visible aussi sur la figure 6, ces surfaces sont des surfaces planes dans une exécution simplifiée et préférée. Cette variante permet de transformer à peu de frais des arbres de balanciers existants pour les  
20 adapter à l'invention, les autres composants du balancier, ou du mécanisme dans lequel il est intégré, ne nécessitant aucune modification géométrique.

La figure 2 montre un arbre 1 de balancier avec une géométrie magnétiquement optimisée schématisée. Les parties les plus larges, qui sont utilisées comme support, ont un rapport de forme important, la dimension la plus  
25 grande étant orientée avec son axe principal DP dans la direction sensiblement orthogonale à la direction d'aimantation préférentielle DA de l'environnement du mouvement. Si certaines portées, notamment les pivots, restent de révolution, la partie saillante 11 est ici de forme prismatique, avec les surfaces antagonistes 14 et 15, et des surfaces de bout 16 et 17 sur les petits côtés du rectangle enveloppe  
30 du profil 12, qui sont toutes planes, dans une réalisation particulière. Pour d'autres fonctions d'appui de l'arbre 1 de balancier, d'autres parties 11A, 11B, avec un rapport de forme supérieur à 1 sont ménagées parallèlement à la partie saillante principale 11, et ont toutes leur axe principal DP dans la direction sensiblement orthogonale à la direction d'aimantation préférentielle DA. Le fraisage en bout des

faces 16A, 16B, 17A, 17B, conjugué avec le fraisage des prolongements des plans 14 et 15 au niveau de ces parties 11A, 11B, offre l'avantage de permettre la fuite des champs magnétiques, et de réduire davantage l'aimantation résiduelle.

La figure 3 illustre une géométrie optimisée alternative, dérivée de celle de la figure 2. Dans ce cas, les parties de support les plus longues, de la partie saillante principale 11, mais aussi des autres parties 11A, 11B, sont découpées et comportent des découpes 18, notamment sous forme de fentes, pour induire une auto-démagnétisation partielle en absence du champ externe. Ces découpes 18 s'étendent selon une direction parallèle à l'axe principal DP. Comme précédemment, les parties les plus longues, utilisées comme support, ont un rapport de forme important, la dimension la plus grande étant orientée avec son axe principal DP dans la direction sensiblement orthogonale à la direction d'aimantation préférentielle DA de l'environnement du mouvement. De préférence, la profondeur des découpes 18 est supérieure ou égale à la moitié de la longueur de la partie 11 ou 11A considérée dépassant le rayon moyen de la partie cylindrique de l'arbre 1.

Là encore, les parties saillantes et les découpes sont symétriques par rapport à l'axe de pivotement D de l'arbre 1.

Même si l'exécution délimitée par des surfaces 14 et 15 qui sont des plans parallèles est très favorable, en termes de résultat comme de coût de production, il faut remarquer que, dès qu'on a un rapport de forme supérieur à 2, selon l'invention, une direction d'aimantation préférentielle dans le plan xy est établie, ce que confirment les simulations par éléments finis.

De façon préférée, pour éviter la création de balourds, l'arbre 1 selon l'invention est symétrique par rapport à un plan passant par l'axe de pivotement D et parallèle à la direction de l'axe principal DP.

Les surfaces de révolution 19, notamment les pivots et le corps cylindrique de l'arbre du balancier peuvent être identiques aux pivots et au corps cylindrique d'un arbre de balancier traditionnel : les performances mécaniques du composant sont donc inaltérées par rapport aux arbres de balancier existants.

Les arbres présentés sur les figures possèdent une direction préférentielle d'aimantation parallèle à l'axe principal DP et choisie de telle manière à être sensiblement orthogonale à la direction d'aimantation préférentielle DA de l'environnement du mouvement (quand le balancier spiral est au repos).

Cas d'un arbre de balancier traditionnel :

En ce qui concerne l'effet résiduel, pour un arbre de balancier traditionnel, deux régimes d'aimantation sont possibles, suite à l'exposition à un champ magnétique intense, notamment sous l'influence d'un champ externe statique  
5 puissant ( $> 5\ 000\ \text{kA/m}$ ), capable de saturer l'acier au carbone (20 AP) dont est généralement fabriqué l'arbre de balancier, et orienté orthogonalement à l'axe de pivotement de cet arbre (on néglige le cas où le champ est parallèle à l'axe, parce que ce cas ne produit pas de défauts importants à la chronométrie):

- premier cas : le mouvement du balancier 10 s'arrête sous le champ externe, et le mouvement 30 est stoppé. Puisque le mouvement s'arrête proche de sa position de repos (généralement à moins de  $20^\circ$ , parce que l'arbre a une symétrie cylindrique et le spiral est amagnétique), le champ rémanent dans l'arbre du balancier est orienté comme le champ externe « vu » depuis la position de repos.

15 - deuxième cas : le mouvement ne s'arrête pas, donc l'aimantation de l'arbre a lieu dynamiquement: à chaque oscillation, la direction du champ externe « vu » par l'arbre se modifie, le champ dans la matière subit plusieurs cycles d'hystérèse avec la formation progressive (à chaque cycle) d'un champ rémanent (le champ externe est intense, donc il aimante fortement l'arbre, mais, quand  
20 l'orientation de l'arbre change, le même champ externe réduit et réoriente partiellement le champ rémanent créé). A cause de la formation progressive et cyclique d'une aimantation permanente, le champ rémanent finalement formé (au bout de quelques oscillations complètes, c'est-à-dire après 0,5 s à 1 s, selon la fréquence) dans l'arbre sera orienté comme si l'arbre était immobile dans sa  
25 position moyenne, c'est-à-dire dans sa position de repos (exactement comme si l'arbre s'était arrêté sous le champ).

Indépendamment de l'arrêt sous champ du mouvement, le champ rémanent sera orienté préférentiellement comme le champ externe tandis que le champ rémanent créé dans l'environnement du mouvement sera orienté selon  
30 l'orientation des composants ferromagnétiques fixes (barrettes, vis, ponts), selon la direction d'aimantation préférentielle DA.

Après l'élimination du champ externe, un couple magnétique résiduel agit sur l'arbre de balancier comme sur une aiguille de boussole. Le défaut de marche dépend de la symétrie du couple magnétique par rapport à la position de repos du

balancier (angle d'oscillation = 0): si le couple est une fonction impaire de l'angle, le défaut de marche est maximum, si le couple est une fonction paire de l'angle, le défaut de marche est nul (mais ce dernier résultat est très improbable pour un arbre traditionnel).

5

Cas d'un arbre de balancier selon l'invention:

L'effet résiduel pour un arbre 1 optimisé géométriquement selon l'invention est différent de celui constaté pour un arbre traditionnel.

Les arbres 1 représentés en figure 1 et en figure 2 présentent un rapport de  
10 forme d'environ 2. Pour des arbres ayant un rapport de forme de 2 ou supérieur à 2, les régimes d'aimantation possibles sont :

- premier cas : le mouvement s'arrête sous le champ externe. La présence d'une direction d'aimantation préférentielle affaiblit l'aimantation dans la direction orthogonale.

15 - deuxième cas : le mouvement ne s'arrête pas, donc l'aimantation de l'arbre a lieu dynamiquement: à chaque oscillation, la direction du champ externe « vu » par l'arbre se modifie, le champ dans la matière subit plusieurs cycles d'hystérèse avec la formation progressive (à chaque cycle) d'un champ rémanent.

- En raison de la présence d'une direction d'aimantation préférentielle,  
20 l'aimantation est:

- orientée selon cette direction, si le champ externe est orienté selon une direction quelconque sauf la direction exactement orthogonale ;

- orientée dans la direction orthogonale mais très faible, si le champ externe est orienté dans la direction orthogonale à l'axe principal DP de l'arbre.

25 Puisque l'axe principal DP de l'arbre 1 est sensiblement orthogonal à la direction préférentielle d'aimantation DAP de l'environnement, pour presque toutes les orientations possibles du champ externe (sauf l'orientation selon la direction préférentielle d'aimantation DAP de l'environnement) le couple magnétique résiduel résultant sur l'arbre1 est une fonction paire de l'angle d'oscillation, ce qui  
30 rend presque nul le défaut de marche résiduel.

Si le champ est orienté exactement selon la direction préférentielle d'aimantation de l'environnement DAP, l'arbre est aimanté dans la même direction, donc orthogonalement à l'axe principal DP, mais dans ce cas son aimantation est faible, inférieure à 0,2 T, comme le montre la figure 4 qui illustre la répartition du

champ rémanent, après aimantation à 0,2 T selon la direction orthogonale à l'axe principal DP, d'un arbre 1 de balancier optimisé en acier 20 AP. Le couple magnétique est, dans ce cas, une fonction impaire de l'angle d'oscillation, mais il est entre 10 et 100 fois (en dépendance de la géométrie) plus faible que le couple agissant sur un arbre traditionnel, tel que visible sur la figure 5, qui illustre, sous forme d'un graphe, la comparaison des couples magnétiques exercés sur un arbre de balancier traditionnel selon le graphe GT représenté en trait interrompu, et sur un arbre 1 optimisé selon l'invention selon le graphe GO est représenté en trait continu. En abscisse figure l'angle en degrés, et en ordonnée le couple exercé sur le balancier, en mN.mm . Le défaut de marche résiduel est alors réduit d'un facteur entre 3 et 10.

La figure 8 illustre l'influence de la valeur de l'angle entre la direction préférentielle d'aimantation du mouvement et celle de l'axe principal de l'arbre de balancier : il est très clair que pour un angle de 90°, l'écart de marche est très faible, de l'ordre de la seconde par jour, quelle que soit l'amplitude.

Indépendamment de la direction du champ externe, l'optimisation géométrique de l'arbre permet donc de réduire considérablement le défaut de marche résiduel.

De préférence, la matière de l'arbre 1 est magnétiquement homogène dans la réalisation simple illustrée par les figures. Cette exécution particulière n'exclut nullement des réalisations où l'arbre 1 est magnétiquement inhomogène.

Dans une variante particulière, l'arbre 1 est monobloc et réalisé en une ou plusieurs parties alignées. Cet arbre monobloc 1 est magnétiquement inhomogène et a des propriétés magnétiques intrinsèques, qui sont la perméabilité et le champ de saturation et le champ coercitif et la température de Curie et la courbe d'hystérèse dépendante, qui sont non-uniformes dans son volume. Plus particulièrement, cet arbre 1 est magnétiquement inhomogène, avec une variation des propriétés magnétiques intrinsèques de cet arbre monobloc 1, soit selon la direction axiale de l'axe de pivotement D de cet arbre monobloc 1, soit de façon radiale par rapport à l'axe de pivotement D, soit à la fois selon la direction axiale de l'axe de pivotement D dudit arbre monobloc 1 et de façon radiale avec une symétrie de révolution par rapport à cet axe de pivotement D.

L'invention apporte des avantages conséquents :

- 19 -

- champ d'arrêt sous-champ augmenté pour les montres avec spirale, corps d'ancre et roue d'échappement amagnétique ;

- effet résiduel réduit pour les montres avec spirale, corps d'ancre et roue d'échappement amagnétique ;

5 - performances mécaniques identiques aux montres de l'état actuel de la technique.

L'invention permet, ainsi, de modifier la géométrie de l'arbre du balancier (et non pas du balancier tout entier), parce que l'arbre est en général le seul composant magnétique, qu'il est difficile de le remplacer par un matériau  
10 amagnétique. Et c'est bien l'influence de l'arbre lui-même qu'il faut réduire, ce but est atteint par l'invention.

Il n'est pas nécessaire d'adapter la géométrie des composants se montant sur l'arbre de balancier, car les surfaces de support sont maintenues, même si elles sont localement modifiées par la mise en œuvre de l'invention, par rapport à  
15 un balancier traditionnel.

En somme, même si on peut naturellement envisager, autour du concept inventif de l'invention, différentes constructions très spécifiques selon le cas d'espèce, et surtout pour simplifier la fabrication et la fixation des composants, l'important est d'appliquer ce concept de base: il faut définir une direction  
20 préférentielle d'aimantation de l'arbre de balancier, adaptée à la direction d'aimantation préférentielle de l'environnement. La manière la plus simple est d'avoir une géométrie prismatique plutôt que cylindrique (avec un facteur de forme de 2 ou plus).

L'invention permet d'obtenir un oscillateur avec une excellente régularité de  
25 marche, car très peu sensible aux perturbations magnétiques externes, au contraire de tentatives de l'art antérieur (comme par exemple un oscillateur constitué par l'interaction d'un arbre magnétisé de manière permanente avec un stator, mais dont la fréquence dépend fortement de la magnétisation de l'axe, et donc ressent fortement toute perturbation magnétiques externe, et ne peut être  
30 utilisé pour un mouvement horloger précis).

Pour arriver à ce résultat, il a fallu étudier le mécanisme d'aimantation d'un composant ferromagnétique en mouvement, un problème qui n'a jamais été attaqué en horlogerie et qui a été étudié dans le domaine des machines rotatives lourdes seulement à partir des années 2000.

On comprend qu'il existe une grande différence entre d'une part un composant magnétiquement passif, comme l'arbre 1 de l'invention, (ferromagnétique, non aimanté et, en principe, mauvais aimant permanent), et d'autre part un composant magnétiquement actif comme un aimant permanent  
5 (réalisé avec une matière ferromagnétique spécifique, avec un point de Curie et un champ coercitif très élevés, et aimanté volontairement selon une direction spécifique avant d'être intégré dans la construction, en utilisant des champs d'aimantation extrêmement élevés, de l'ordre de 3 T à 6 T. L'homme du métier ne peut donc pas transférer des résultats connus pour un aimant permanent à des  
10 composants ferromagnétiques non aimantés, dont le comportement est complètement différent et qui constituent des systèmes beaucoup plus complexes parce que leur réponse magnétique dépend fortement de leur géométrie, des effets de surface et de l'environnement dans le mouvement.

L'homme du métier peut consulter à ce sujet différents articles :

15 - Diala E.A. (2008), "Magnetodynamic vector hysteresis models for steel laminations of rotating electrical machines", Helsinki University of Technology, ISBN 978-951-22-9276-9 / 978-951-22-9277-6, ISSN 1795-2239/1795-4584.

- Fuzi, J. (1999), "Computationally efficient rate dependent hysteresis model", COMPEL, 18, 445–457.

20 - Zirka, S. E., Moroz, Y. I., Marketos, P., and Moses, A. J. (2004c), "Properties of dynamic Preisach models", Physica B: Condensed Matter, 343, 85–89.

- Zirka, S. E., Moroz, Y. I., Marketos, P., and Moses, A. J. (2005b), "A viscous-type dynamic hysteresis model as a tool of loss separation in conducting  
25 ferromagnetic laminations", IEEE Trans. Magn., 41, 1109–1111.

## REVENDEICATIONS

1. Arbre (1) de mobile (10) d'horlogerie destiné à pivoter autour d'un axe de pivotement (D) et comportant au moins une partie saillante (11) de plus grand  
5 rayon (RMAX) autour dudit axe de pivotement (D), caractérisé en ce que au moins ladite partie saillante (11) est délimitée, de part et d'autre dudit axe de pivotement (D), par deux surfaces (14 ; 15) symétriques par rapport audit axe de pivotement (D) et qui définissent, en projection sur un plan perpendiculaire audit axe de pivotement (D), un profil (12) inscrit dans un rectangle (R) dont le rapport de la  
10 longueur (LR) à la largeur (LA) définit un rapport de forme qui est supérieur ou égal à 2, la direction de ladite longueur (LR) définissant un axe principal (DP).

2. Arbre (1) selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte au moins une autre partie (11A) ayant, en projection sur un plan perpendiculaire audit axe de pivotement (D), un profil rectangulaire délimité sur deux côtés antagonistes  
15 par lesdites deux surfaces (14 ; 15).

3. Arbre (1) selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que au moins une partie (11, 11A), de profil rectangulaire délimité sur deux côtés antagonistes par lesdites deux surfaces (14 ; 15), que comporte ledit arbre (1), comporte au moins une découpe (18) centrée sur ledit axe de pivotement (D) et  
20 s'étendant selon une axe principal (DP) qui est celle de la longueur dudit rectangle (R).

4. Arbre (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que lesdites deux surfaces (14 ; 15) sont planes et parallèles audit axe de pivotement (D).

25 5. Arbre (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est réalisé en acier.

6. Arbre (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est monobloc et réalisé en une ou plusieurs parties (2) alignées, en ce que ledit arbre monobloc (1) est magnétiquement inhomogène et a des propriétés  
30 magnétiques intrinsèques, qui sont la perméabilité et le champ de saturation et le champ coercitif et la température de Curie et la courbe d'hystérèse dépendante, qui sont non-uniformes dans son volume.

7. Arbre (1) selon la revendication 6, caractérisé en ce que ledit arbre (1) est magnétiquement inhomogène, avec une variation des propriétés

magnétiques intrinsèques dudit arbre monobloc (1), soit selon la direction axiale de l'axe de pivotement (D) dudit arbre monobloc (1), soit de façon radiale par rapport audit axe de pivotement (D), soit à la fois selon la direction axiale de l'axe de pivotement (D) dudit arbre monobloc (1) et de façon radiale avec une symétrie de  
5 révolution par rapport audit axe de pivotement (D).

8. Mécanisme d'horlogerie (20) comportant un mobile (10) oscillant autour d'une position de repos définie par un plan de repos passant par un axe de pivotement (D), ledit mobile étant rappelé vers une position de repos par des moyens de rappel élastique, caractérisé en ce que ledit mobile (10) comporte un  
10 arbre (1) selon l'une des revendications précédentes, ledit arbre (1) étant en acier, et en ce que ledit axe principal (DP) dudit arbre (1), dans le plan orthogonal audit arbre, occupe une position angulaire déterminée par rapport audit plan de repos dans ladite position de repos dudit mobile (10), ledit mécanisme (20) ayant une direction d'aimantation préférentielle (DA) qui est sensiblement orthogonale audit  
15 axe principal (DP) dudit arbre (1) dans ladite position de repos.

9. Mécanisme (20) selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ledit arbre (1) en acier, présente un champ de saturation élevé de valeur ( $B_s$ ) supérieure à 1 T, une perméabilité magnétique maximale ( $\mu_R$ ) supérieure à 50, et un champ coercitif ( $H_c$ ) supérieur à 3 kA/m.

20 10. Mécanisme (20) selon la revendication 8 ou 9, caractérisé en ce que ledit mécanisme (20) est un mécanisme d'échappement, et en ce que ledit mobile (10) est un balancier ramené vers ladite position de repos par au moins un ressort-spiral, et en ce que ledit arbre (1) est un arbre de balancier.

25 11. Mouvement d'horlogerie (30) comportant au moins un mécanisme (20) selon l'une des revendications 8 à 10.

12. Montre (40) comportant au moins un mouvement d'horlogerie (30) selon la revendication précédente, ou/et comportant au moins un mécanisme (20) selon l'une des revendications 8 à 10.

Fig. 1

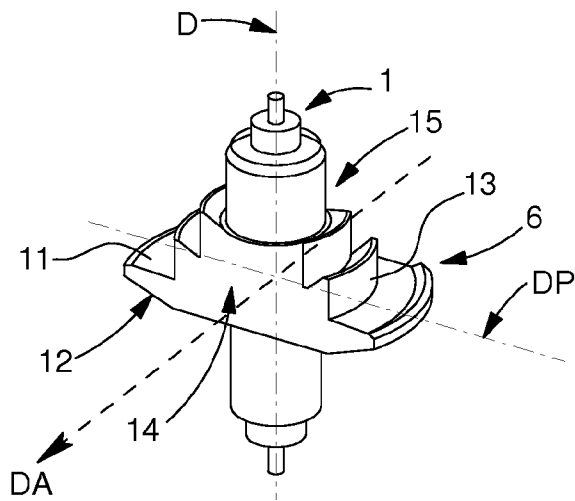


Fig. 2

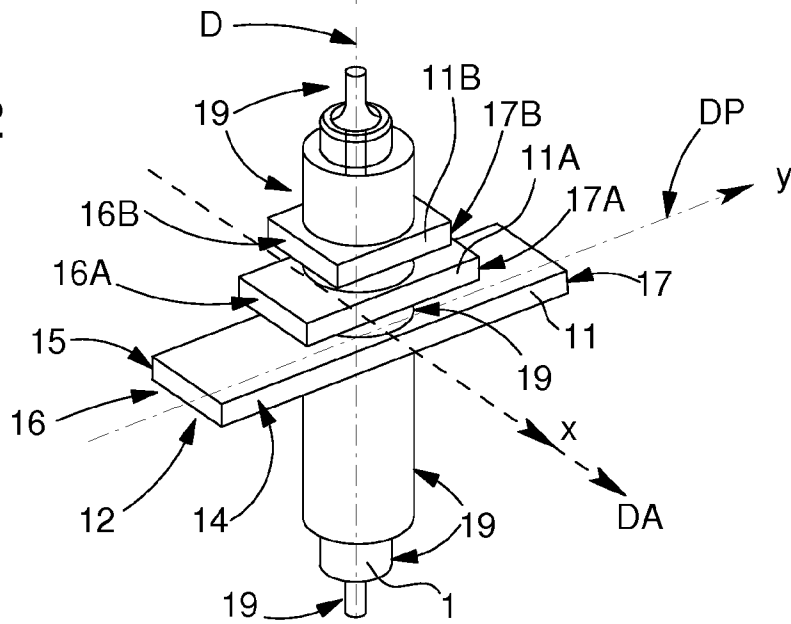


Fig. 3

