



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
23.06.2021 Bulletin 2021/25

(51) Int Cl.:
G04B 17/06 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **19218486.9**

(22) Date de dépôt: **20.12.2019**

(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 KH MA MD TN

(71) Demandeur: **Patek Philippe SA Genève**
1204 Genève (CH)

(72) Inventeurs:
• **LE BRIS, Jean-Baptiste**
74970 Marignier (FR)
• **BUCAILLE, Jean-Luc**
74160 Présilly (FR)

(74) Mandataire: **Micheli & Cie SA**
Rue de Genève 122
Case Postale 61
1226 Genève-Thônex (CH)

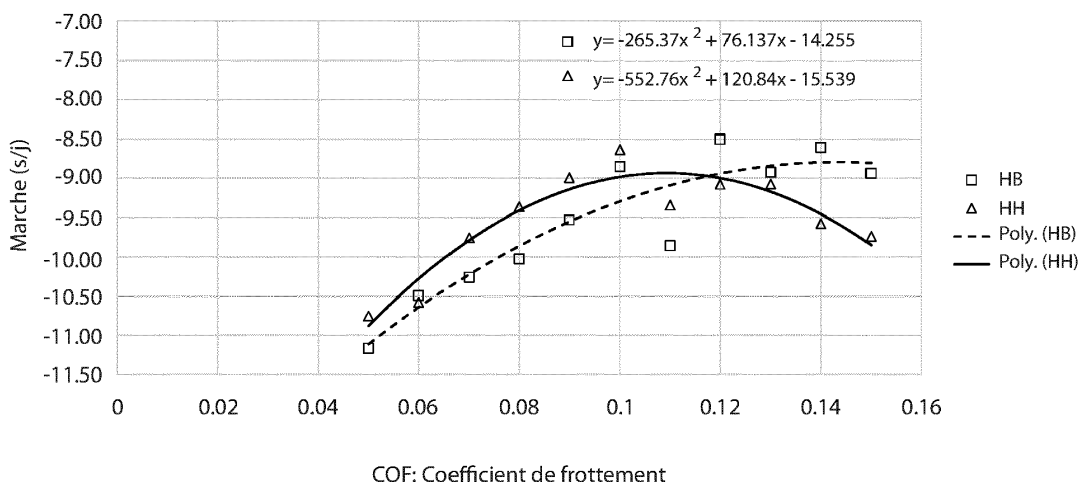
(54) **PROCEDE DE CORRECTION DE LA MARCHE ET/OU DE L'AMPLITUDE AUX POSITIONS POUR UN OSCILLATEUR DE PIECE D'HORLOGERIE DE TYPE BALANCIER-SPIRAL**

(57) La présente invention a pour objet un procédé de correction de la marche et/ou de l'amplitude aux positions pour un oscillateur de pièce d'horlogerie de type balancier-spiral dans lequel on modifie au moins un des coefficients de frottement de référence entre les pivots

et les paliers de l'oscillateur dans ses positions horizontale haut ou horizontale bas ou verticale pour corriger le décalage fond-verre en marche et/ou le décalage plat-pendu en marche et/ou le décalage plat-pendu en amplitude.

Fig.5

Marche Horizontale Bas et Horizontale Haut en fonction du COF



Description

[0001] La présente invention a pour objet un procédé de correction de la marche et/ou de l'amplitude aux positions pour un oscillateur de pièce d'horlogerie de type balancier-spiral.

[0002] Un oscillateur traditionnel de type balancier-spiral représenté aux figures 1a et 1b est composé d'un balancier 1 et d'un ressort spiral attaché par ses extrémités au balancier 1 et au piton 9 lui-même fixé au coq. Le balancier 1 est formé d'une serge 1a solidaire d'un axe de balancier 2. L'axe de balancier 2 comprend deux pivots 3, 4 sans portée formés par une partie cylindrique 3a, 4a raccordée par un congé 3b, 4b au tigeon de l'axe 2. Les pivots 3, 4 traversent le trou d'une pierre de pivotement 5, 6 et appuient par leur extrémité arrondie ou bout de pivot 3c, 4c contre la face d'une seconde pierre appelée contrepivot ou contre-pierre 7, 8. En général, un lubrifiant est utilisé pour améliorer le pivotement entre les pivots 3, 4 et les pierres de pivotement 5, 6 et les contre-pierres 7, 8. Les dimensions des pivots 3, 4 et des trous dans les pierres de pivotement 5, 6 sont en général inférieures à 100 µm. L'axe de balancier 2 porte encore, d'un côté du balancier 1, au moins un plateau 10 ainsi que la cheville de plateau 11, par laquelle arrive l'impulsion de l'échappement.

[0003] En pratique, les oscillations d'un balancier-spiral entretenu par un échappement ne sont pas isochrones, c'est-à-dire qu'elles ne se font pas toutes en temps égal lorsque l'amplitude varie. La durée des oscillations d'un balancier spiral, et donc l'isochronisme de celui-ci (soit son aptitude à osciller dans des temps égaux, quelles que soient les influences extérieures, voir Dictionnaire professionnel illustré de l'horlogerie, G.-A. Berner) est perturbé par les principaux facteurs suivants : l'échappement, le contact entre les pivots de l'axe de balancier et leurs paliers (pierres et contre-pierres), l'équilibre de l'ensemble balancier-spiral, les défauts de l'ensemble et la forme du spiral.

[0004] Les horlogers étudient en général les oscillations d'un balancier-spiral entretenu par un échappement dans six positions déterminées dudit balancier-spiral et de la montre : deux positions horizontales, horizontale haut (HH, sur fond, position naturelle de la main en pronation) et horizontale bas (HB, sur verre, position rarement observée au porter de la main en supination) et quatre positions verticales, verticale haut (VH, 3h en haut), verticale bas (VB, 9h en haut), verticale droite (VD, 12h en haut) et verticale gauche (VG, 6 heure en haut).

[0005] L'isochronisme du balancier-spiral peut par exemple être évalué en associant pour chacune des six positions type l'amplitude des oscillations avec la marche instantanée du mouvement. La marche est un terme de réglage qui désigne traditionnellement la différence de deux états de la montre séparés par 24 heures. Il est possible de mesurer la marche instantanée M [s/j] en fonction de la période des oscillations du balancier :

$$M = -86400 \frac{T - T_0}{T}$$

où, T est la période observée de l'oscillateur, T_0 est la période théorique des oscillations (isochronisme parfait) et 86400 est le nombre de secondes dans 24 heures.

[0006] Ainsi, si la période observée T est plus courte que la période théorique T_0 , le balancier-spiral est plus rapide, la marche instantanée est positive et le mouvement a de l'avance. A l'inverse, si la période observée T est plus longue que la période théorique T_0 , le balancier-spiral est plus lent, la marche instantanée est négative et le mouvement a du retard.

[0007] En associant ainsi l'amplitude des oscillations avec la marche instantanée du mouvement, il est possible d'obtenir des courbes, dites courbes d'isochronisme, caractérisant l'isochronisme d'un oscillateur de type balancier-spiral entretenu par un échappement. La figure 2a illustre ces courbes d'isochronisme dans les six positions type. L'horloger considère plus généralement l'intervalle d'amplitudes entre 180° et 300° visible sur la figure 2b.

[0008] Le retard aux petites amplitudes visible dans la figure 2a est dû à la somme des facteurs perturbateurs agissant sur le balancier-spiral et notamment à l'échappement et au pivotement dudit balancier.

[0009] Les horlogers utilisent encore trois notions pour étudier les oscillations d'un balancier spiral : le décalage fond-verre est la différence de marche entre la position HB et la position HH pour une amplitude donnée (voir la figure 3) ; le décalage plat-pendu en marche est la différence de marche entre la moyenne des positions horizontales HH et HB et la moyenne des positions verticales VB, VH, VG et VD (voir la figure 4) ; tandis que le décalage plat-pendu en amplitude est la différence entre la moyenne des amplitudes maximales des positions horizontales HH et HB et la moyenne des amplitudes maximales des positions verticales VB, VH, VG et VD. Sur les courbes des figures 3 et 4, on lit les résultats suivants :

- Décalage fond-verre en marche aux amplitudes maximales (285° et 295°) : 2s/j
- Décalage plat-pendu en marche aux amplitudes maximales (285° et 255°) : 3s/j
- Décalage plat-pendu en amplitude : 30°.

[0010] Les horlogers cherchent à optimiser le fonctionnement du balancier-spiral et donc à réduire les écarts entre les différentes marches (le décalage fond-verre et le décalage plat-pendu en marche), à optimiser l'isochronisme et à maximiser l'amplitude des oscillations. En pratique, il s'agit plutôt de faire en sorte que tous les défauts (frottements, influence de l'échappement, forme du spiral, équilibre, contraintes de construction...) se neutralisent. Par exemple, il est connu de modifier la longueur du spiral, son point d'attache ou sa forme pour modifier la marche et créer ainsi de l'avance ou du retard aux

petites amplitudes, pour contrer l'influence de l'échappement.

[0011] Le but de la présente invention est de proposer un procédé de correction de la marche et/ou amplitude aux positions pour un oscillateur de pièce d'horlogerie de type balancier-spiral permettant de corriger, pour un oscillateur du type balancier spiral donné, la marche et notamment le décalage fond-verre et/ou le décalage plat-pendu en marche et/ou le décalage plat-pendu en amplitude.

[0012] La présente invention a pour objet un procédé de correction de la marche et/ou de l'amplitude aux positions pour un oscillateur de pièce d'horlogerie de type balancier-spiral selon la revendication 1.

[0013] L'invention va maintenant être décrite en détail en référence aux figures annexées.

Les figures 1a et 1b illustrent un oscillateur de type balancier-spiral et ses moyens de pivotement traditionnels tels que décrits ci-dessus.

Les figures 2 à 4, également discutées en introduction, sont des courbes d'isochronisme obtenues pour un certain mouvement d'horlogerie dont l'oscillateur du type balancier-spiral illustré aux figures 1a et 1b présente les caractéristiques suivantes : fréquence 4Hz, masse du balancier 47mg, moment d'inertie 4,7 mg cm², axe de balancier en acier, pivots de diamètre 63 µm lisses, bouts de pivots avec surface de contact lisse, pierres de pivotement et contre-pierres en rubis.

La figure 5 illustre la relation entre le coefficient de frottement entre le bout de pivot et sa contre-pierre et la marche en positions horizontale haut HH et horizontale bas HB pour une amplitude d'environ 285° à 295°.

La figure 6 illustre la relation entre le coefficient de frottement entre le pivot et sa pierre de pivotement et l'amplitude dans une position verticale.

La figure 7 illustre la marche en fonction de l'amplitude dans les positions horizontales HB et HH pour un coefficient de frottement corrigé valant 0,05 pour le couple bout de pivot /contre-pierre en position horizontale bas (palier HB).

La figure 8 illustre la moyenne des marches en positions horizontales haut et bas et la moyenne des marches en positions verticales en fonction de l'amplitude avec le coefficient de frottement corrigé valant 0,05 pour le couple bout de pivot/contre-pierre en position horizontale bas (palier HB).

La figure 9 illustre la marche en fonction de l'amplitude dans les positions horizontales HB et HH pour un coefficient de frottement corrigé valant 0,05 pour les deux couples bout de pivot/contre-pierre.

La figure 10 illustre la moyenne des marches en positions horizontales haut et bas et la moyenne des marches en positions verticales avec le coefficient de frottement corrigé valant 0,05 pour les deux couples bout de pivot/contre-pierre.

[0014] La présente invention a pour objet un procédé de correction de la marche et/ou de l'amplitude aux positions pour un oscillateur de pièce d'horlogerie de type balancier-spiral.

[0015] La première étape de ce procédé consiste à fournir un mouvement d'horlogerie comprenant un oscillateur de type balancier spiral ainsi qu'un mécanisme d'échappement pour l'entretien des oscillations dudit oscillateur. Un tel oscillateur de type balancier spiral est illustré aux figures 1a et 1b et a déjà été décrit en partie ci-dessus.

[0016] De manière générale, l'oscillateur fourni comprend un axe de balancier terminé par des premier et second pivots. Les pivots sont agencés pour pivoter dans des paliers dont deux paliers horizontaux et deux paliers verticaux. Dans la forme d'exécution illustrée aux figures 1a et 1b, les paliers horizontaux sont constitués des contre-pierres 7, 8 et les paliers verticaux sont constitués par les deux pierres de pivotements 5, 6. Dans les positions verticales, les premier et second pivots sont en appui dans les paliers verticaux tandis qu'en position horizontale bas HB, le premier pivot de l'oscillateur, dit pivot HB (bout de pivot 4c) est en appui sur un premier palier horizontal dit palier HB (contre-pierre 8). De même dans la position horizontale haut HH, le second pivot de l'oscillateur, dit pivot HH (bout de pivot 3c) est en appui sur un second palier horizontal dit palier HH (contre-pierre 7).

[0017] La seconde étape du procédé selon l'invention consiste à déterminer, pour l'oscillateur fourni, les courbes d'isochronisme dans les six positions type lorsque ledit oscillateur est placé dans le mouvement d'horlogerie et que ses oscillations sont entretenues par le mécanisme d'échappement. Ces courbes sont illustrées aux figures 2 à 4 pour l'oscillateur des figures 1a à 1b.

[0018] En positions horizontales du balancier-spiral HH et HB, l'axe de balancier 2 appuie verticalement par le bout de pivot 3c, 4c sur une contre-pierre 7, 8. Dans ces positions, il est préférable que l'axe de balancier 2 ne touche pas les contre-pierres 7, 8 en même temps. Un jeu axial de 30µm est préconisé. En position horizontale haut HH, le bout de pivot 3c de l'axe de balancier 2 est en appui contre la contre-pierre 7 lorsque la pièce d'horlogerie est regardée côté fond, tandis qu'en position horizontale bas HB, le bout de pivot 4c de l'axe de balancier est en appui contre la contre-pierre 8.

[0019] En théorie, dans les positions horizontales, la trace des bouts de pivots 3c et 4c sur leur contre-pierre 7, 8 respective devrait être un point et les pivots 3, 4 ne devraient jamais toucher les bords du trou des pierres 5, 6. En pratique, le développement du spiral n'est pas parfaitement concentrique ce qui génère des forces radiales sur l'axe de balancier 2 et sur chacun des pivots 3, 4 qui entraînent un déplacement en translation des bouts de pivot 3c, 4c sur leur contre-pierre respective 7, 8. De plus, lors du choc entre la fourchette de l'échappement et la cheville de plateau 11, une force est transmise à l'axe de balancier 2 qui entraîne également un déplacement en translation des bouts de pivot 3c, 4c. Cette force est

plus importante que les forces radiales dues au développement non concentrique du spiral.

[0020] Les différentes forces radiales dues au spiral et au choc fourchette/cheville de plateau 10 ne s'exercent pas au centre de l'axe de balancier 2 puisqu'en général, ni la cheville de plateau 10, ni le spiral ne sont fixés au milieu dudit axe 2. Il y a donc une dissymétrie entre le déplacement en translation subi par les bouts de pivot 3c, 4c sur la contre-pierre 7, 8 selon que la position est horizontale haut HH ou horizontal bas HB. Pour essayer de réduire cette dissymétrie, une solution serait de tendre à un positionnement du spiral, du balancier ainsi que de la cheville de plateau au niveau du centre de gravité de l'axe de balancier. Cette dissymétrie est illustrée notamment par les deux courbes marche/amplitude distinctes pour les positions horizontale haut HH et horizontale bas HB de la figure 3.

[0021] Le second facteur perturbateur prépondérant pour les positions horizontales haut et bas est le contact de frottement entre les bouts de pivots 3c, 4c et les contre-pierres 7, 8.

[0022] Dans les positions horizontales, la marche est donc influencée par le changement de position du bout de pivot 3c, 4c sur la contre-pierre 7, 8 et les frottements dus à ce changement de position. En particulier, si les frottements sont faibles alors l'effet perturbateur du spiral et de la fourchette pourra être prépondérant et favoriser le glissement du bout de pivot sur la contre-pierre, glissement qui entraîne du retard dans la marche. A l'inverse, si les frottements sont importants alors l'effet du spiral et de la fourchette sera moindre et les frottements de type roulement pourront être favorisés, roulement qui entraîne de l'avance dans la marche.

[0023] En positions verticales du balancier, l'axe du balancier 2 appuie par ses deux pivots 3, 4 dans les trous des pierres de pivotement 5, 6. En particulier, ce sont les surfaces cylindriques 3a, 4a des pivots 3, 4 qui appuient contre les parois intérieures de chacun des trous des pierres de pivotement 5, 6. Selon l'amplitude d'oscillation de l'oscillateur balancier-spiral, les frottements dans les positions verticales se partagent entre un frottement de roulement et un frottement de glissement pour le reste de l'oscillation. Cette courte phase de roulement est responsable d'une avance de plusieurs secondes par jour et a donc une influence sur la marche.

[0024] De même, il est également démontré que les frottements dans les positions verticales engendrent une perte d'amplitude importante pour les oscillations de l'oscillateur (quelle que soit la position verticale considérée) et que cette perte d'amplitude est plus importante que dans les positions horizontales. Par conséquent, le décalage plat-pendu en amplitude est généralement significatif (30° selon les courbes de la figure 2b).

[0025] Les courbes d'isochronisme obtenues lors de la deuxième étape du procédé selon l'invention permettent donc de qualifier l'isochronisme de l'oscillateur considéré et en particulier de déterminer le décalage fond-verre en marche, le décalage plat-pendu en marche et

le décalage plat-pendu en amplitude.

[0026] La troisième étape du procédé selon l'invention consiste à déterminer les coefficients de frottement suivants :

- Les coefficients de frottement entre les bouts de pivot 3c, 4c et leur contre-pierre respective 7, 8 qu'on appellera coefficient de frottement horizontal haut de référence, respectivement coefficient de frottement horizontal bas de référence,
- Le coefficient de frottement entre les pivots 3, 4 et leur pierre de pivotement respective 5, 6 qu'on appellera, coefficient de frottement vertical de référence.

[0027] L'homme du métier sait comment mesurer ces coefficients de frottement. Il est possible par exemple d'effectuer un essai du type pion-disque : on fait frotter un pion sur un disque dans des conditions précises (matériaux, vitesse, pression, environnement, ...) ; on mesure en continue les forces normales et tangentielles pour calculer le coefficient de frottement et après un certain nombre de cycle, on évalue l'usure des deux pièces. Il est aussi possible d'utiliser une méthode indirecte qui consiste à mesurer, lors d'oscillations libre (sans influence du mécanisme d'échappement) de l'oscillateur considéré, la variation d'amplitude à chaque oscillation et en la reliant au coefficient de frottement entre le bout de pivot et la contre-pierre pour les positions horizontales et entre le pivot et la pierre pour les positions verticales.

[0028] Dans le cas de l'oscillateur balancier-spiral illustré aux figures 1a et 1b, avec un axe de balancier 2 en acier et des pierres de pivotement 5, 6 et contre-pierres 7, 8 en rubis, le coefficient de frottement horizontal bas de référence, le coefficient de frottement horizontal haut de référence sont égaux et sont également égaux au coefficient de frottement vertical de référence qui valent tous environ 0,12.

[0029] L'ordre d'exécution des deuxième et troisième étapes n'a pas d'importance.

[0030] La quatrième étape du procédé selon l'invention consiste à modifier le coefficient de frottement horizontal bas de référence et/ou le coefficient de frottement horizontal haut de référence et/ou le coefficient de frottement vertical référence sur les couples pivot/palier respectif pour corriger le décalage fond-verre en marche et/ou le décalage plat-pendu en marche et/ou le décalage plat-pendu en amplitude.

Correction du coefficient de frottement horizontal (haut ou bas) de référence (amélioration du décalage fond-verre et/ou du décalage plat-pendu en marche)

[0031] Les équations suivantes caractérisent la marche en position horizontale haut HH respectivement horizontale bas HB en fonction du coefficient de frottement μ entre les bouts de pivot 3c, 4c et leur contre-pierre respective 7, 8 (pivots HH et HB et leur palier HH et HB

respectif) pour une amplitude d'environ 285° à 295°:

$$M_{HH} = -265,37\mu^2 + 76,137\mu + 14.255$$

$$M_{HB} = -552,76\mu^2 + 120,84\mu - 15.539$$

[0032] Avec ces équations, on obtient les courbes de la figure 5 illustrant la relation entre le coefficient de frottement entre le bout de pivot et sa contre-pierre et la marche en positions horizontale haut HH et horizontale bas HB pour une amplitude d'environ 285° à 295°.

[0033] Il est possible d'obtenir des résultats similaires à ceux de la figure 5 pour toutes les autres amplitudes. Il a été en effet constaté que les courbes obtenues sont similaires et ne subissent qu'un décalage vertical.

[0034] Pour l'oscillateur illustré à la figure 1a, le décalage fond-verre en marche aux amplitudes maximales est d'environ 2s/j pour un coefficient de frottement horizontal haut et bas de référence de 0,12 (voir la figure 3). Dans cet exemple également, pour une amplitude comprise entre 180° et 300°, la marche en position horizontale bas HB est strictement supérieure à la marche en position horizontale haut HH.

[0035] Sur la courbe de la figure 5, on constate que, pour un coefficient de frottement μ de 0,12, la marche en positions horizontale haut HH et horizontale bas HB a un retard d'environ 2 s/j. Cela correspond bien à la valeur lisible sur la figure 3 illustrant la marche en positions horizontale haut HH et horizontale bas HB en fonction de l'amplitude (retard de 2s/j pour une amplitude de 285° à 295° environ) pour l'oscillateur de la figure 1a.

[0036] La courbe de la figure 5 enseigne qu'il est possible, pour améliorer le décalage fond-verre en marche, de modifier le coefficient de frottement horizontal bas de référence pour le couple bout de pivot 4c/contre-pierre 8 (pivot HB/palier HB) pour faire tendre la marche en position horizontale bas HB vers la marche en position horizontale haut HH.

[0037] Dans un premier exemple, on modifie le coefficient de frottement horizontal bas de référence pour le couple bout de pivot 4c/contre-pierre 8 (palier HB) pour passer à un coefficient de frottement horizontal bas corrigé valant 0,05. Selon la courbe de la figure 5, la marche en position horizontale bas HB est modifiée d'environ 2s/j.

[0038] Avec ce nouveau coefficient de frottement horizontal bas corrigé pour le couple bout de pivot 4c/contre-pierre 8 (pivot HB/palier HB), on obtient de nouvelles courbes d'isochronisme pour la marche en positions horizontales haut HH et bas HB en fonction de l'amplitude telles qu'illustrées à la figure 7. Par rapport à la figure 3, la courbe illustrant la marche en position horizontale haut HH par rapport à l'amplitude n'a pas changé (le couple bout de pivot 3c/contre-pierre 7, pivot HH/palier HH) est toujours caractérisé par le coefficient de frottement horizontal haut de référence, soit 0,12 dans cet exemple).

Par contre, on constate que la marche en HB s'est rapprochée de la marche en HH dans un intervalle d'amplitude entre 220° et 290°. Ainsi, dans cet intervalle d'amplitude, le décalage fond-verre est essentiellement nul.

[0039] La figure 8 illustre le décalage plat-pendu en marche avec le coefficient de frottement horizontal haut corrigé ci-dessus pour le couple bout de pivot 4c/contre-pierre 8 (pivot HB/palier HB). On constate que le décalage plat-pendu en marche est également amélioré, passant à 2s/j pour une amplitude supérieure à 260° comme illustré sur la figure 8, par rapport au 3s/j obtenu précédemment (figure 4). Même si le gain est peu significatif, ce n'est pas non plus une détérioration.

[0040] Ce premier exemple montre donc qu'en diminuant le coefficient de frottement horizontal bas de référence entre le bout de pivot 4c et la contre pierre 8 (pivot HB/palier HB), il est possible d'améliorer sensiblement le décalage fond-verre en marche sans détériorer le décalage plat-pendu en marche. Dans cet exemple, on aurait pu choisir une autre valeur pour le coefficient de frottement horizontal bas corrigé comprise entre 0,12 et 0,05 ou inférieur à 0,05 et qui aurait également conduit à une amélioration du décalage fond-verre en marche.

[0041] De manière générale, pour corriger le décalage fond-verre en marche et l'améliorer, la quatrième étape du procédé selon l'invention consiste à diminuer l'un des coefficients de frottement horizontal haut ou bas de référence, de sorte que le coefficient de frottement horizontal haut ou bas corrigé est strictement inférieur au coefficient de frottement horizontal haut ou bas de référence. Si la marche en position horizontale bas HB est supérieure à la marche en position horizontale haut HH selon les courbes obtenues à l'étape 2 du procédé selon l'invention (comme dans l'exemple illustré), on choisira de diminuer le coefficient de frottement horizontal bas de référence du couple bout de pivot HB/palier HB. Tandis que si la marche en position horizontale bas HB est inférieure à la marche en position horizontale haut HH selon les courbes obtenues à l'étape 2 du procédé selon l'invention, on choisira de diminuer le coefficient de frottement horizontal haut de référence du couple pivot HH/palier HH.

[0042] On remarque que dans ce premier cas, en modifiant le coefficient de frottement horizontal haut ou bas de référence, les conséquences sur l'amplitude et/ou le décalage plat-pendu en amplitude ainsi que sur la marche dans les positions verticales sont insignifiantes.

[0043] Dans un second exemple, il est également possible lors de la quatrième étape du procédé selon l'invention de corriger le décalage plat-pendu en marche.

[0044] Pour l'oscillateur illustré à la figure 1a, le décalage plat-pendu en marche est d'environ 3s/j aux amplitudes maximales pour un coefficient de frottement horizontal de référence de 0,12 (voir la figure 4).

[0045] Selon la courbe de la figure 5, en modifiant les coefficients de frottement horizontal haut et bas de référence pour le couple bout de pivot 4c/contre-pierre 8 (pivot HB/palier HB) et pour le couple bout-pivot 3c/contre-

pierre 7 (pivot HH/palier HH) pour passer à un coefficient de frottement corrigé valant 0,05, la marche en position horizontale bas HB et la marche en position horizontale haut HH sont chacune modifiées d'environ 2s/j.

[0046] Avec ces coefficients de frottement horizontal haut et bas corrigés pour les deux couples bout de pivot/contre-pierre, on obtient les courbes illustrées à la figure 9 pour les marches en position horizontales haut et bas. Le décalage plat-pendu en marche aux amplitudes maximales est significativement amélioré, passant à 1s/j comme illustré sur la figure 10, par rapport au 3s/j obtenu précédemment (figure 4). Selon la figure 5, la marche en positions horizontales a diminué de 2s/j dans un intervalle d'amplitude entre 220° et 290°, à la fois en position HH et en position HB. Dans cet intervalle d'amplitude, le décalage fond-verre est donc resté quasi identique à 2s/j par rapport à la figure 3. Ainsi, en modifiant les coefficients de frottement horizontal haut et bas de référence sur les deux couples pivot/palier horizontal, le décalage plat-pendu en marche est nettement amélioré sans détérioration du décalage fond-verre.

[0047] Dans l'exemple ci-dessus, le coefficient de frottement horizontal haut corrigé est égal au coefficient de frottement horizontal bas corrigé. En variante, ces coefficients pourraient être différents, tant qu'ils sont chacun strictement inférieurs à leur coefficient de frottement horizontal haut respectivement bas de référence.

[0048] De manière générale, pour corriger le décalage plat-pendu en marche et l'améliorer, la quatrième étape du procédé selon l'invention consiste à diminuer les coefficients de frottement horizontal haut et bas de référence sur les deux couples pivots/paliers horizontaux, de sorte que les coefficients de frottement horizontal haut et bas corrigés soient strictement inférieurs au coefficient de frottement horizontal haut, respectivement bas de référence.

[0049] Dans ce second cas également, en modifiant les coefficients de frottement horizontal haut et bas de référence, les conséquences sur l'amplitude et/ou le décalage plat-pendu en amplitude ainsi que sur la marche dans les positions verticales sont insignifiantes.

Correction du coefficient de frottement vertical de référence (amélioration du décalage plat-pendu en amplitude ou du décalage plat-pendu en marche)

[0050] L'équation suivante caractérise l'amplitude maximale en positions verticales θ en fonction du coefficient de frottement μ entre les pivots 3, 4 et leur pierre de pivotement respective 5, 6 :

$$\theta = 136\mu^2 - 244\mu + 288.$$

[0051] Sur la courbe de la figure 6 illustrant cette équation, on constate qu'en diminuant le coefficient de frottement vertical de référence sur les deux couples pivot/palier verticaux de 0.12 à 0.05, il est possible de gagner

17° d'amplitude maximale. Le décalage fond-verre en marche n'est pas influencé par cette diminution du coefficient de frottement vertical de référence puisque ce coefficient n'a pas d'influence sur le pivotement dans les positions horizontales qui déterminent le décalage fond-verre en marche. Par contre, la marche dans les positions verticales est réduite (d'environ 4s/j dans l'exemple illustré), ce qui a pour conséquence d'augmenter le décalage plat-pendu en marche.

[0052] A l'inverse, en augmentant le coefficient de frottement vertical de référence pour les deux couples pivot/palier vertical, il est possible d'améliorer le décalage plat-pendu en marche en le réduisant. Cependant, dans ce cas, le décalage plat-pendu en amplitude est péjoré (augmenté). La marche dans les positions horizontales n'est pas affectée.

[0053] De manière évidente, il est possible de combiner les résultats ci-dessus et de corriger à la fois le coefficient de frottement horizontal haut et/ou bas de référence et le coefficient de frottement vertical de référence afin de combiner les effets sur le décalage fond-verre en marche et/ou le décalage plat-pendu en marche et/ou le décalage plat-pendu en amplitude.

Exemple de techniques permettant de corriger les coefficients de frottement de référence horizontal et/ou vertical

[0054] Plusieurs solutions sont envisageables pour corriger le coefficient de frottement horizontal bas et/ou haut et/ou vertical de référence sur l'un et/ou l'autre des couples pivot/palier horizontal ou sur les couples pivots/palier verticaux.

[0055] Il est notamment possible de réaliser une texturation de surface sur les surfaces de contact de chaque pivot avec son palier vertical ou horizontal correspondant ou sur ledit palier vertical ou horizontal correspondant (dans l'exemple illustré, sur le bout de pivot, sur la contre-pierre, sur la surface du trou de la pierre de pivotement ou sur les parties cylindriques de chaque pivot).

[0056] Par texturation et texturer, on entend réaliser une structure en relief formée de la répétition régulière d'un motif géométrique et s'étendant à l'ensemble de la surface apparente d'un objet.

[0057] La texturation peut être formée de stries circulaires ou rectilignes, de trous, ou de toute autre forme géométrique appropriée.

[0058] La texturation est réalisée par tout moyen de gravure approprié, manuel ou automatisé. De préférence, la texturation est obtenue par laser ou par gravure ionique réactive profonde (connu sous son acronyme anglais DRIE) ou par un procédé d'usinage combinant laser et attaque chimique sélective (SLE). D'autres procédés pourront être envisagés selon les matériaux utilisés notamment des techniques d'impression 3D ou de moulage. La texturation peut donc être réalisée comme une étape suivant la fabrication de l'axe de balancier ou de la pierre ou contre-pierre ou peut être directement inté-

grée lors de la fabrication de l'axe (moulage ou impression direct de la pièce avec la texturation).

[0059] Lorsqu'un lubrifiant est utilisé pour le pivotement des pivots de l'axe de balancier dans de pivotement et sur les contre-pierres, il a été constaté que la texturation des parties cylindriques 3a, 4a ou des bouts de pivots 3c, 4c des pivots 3, 4 a également pour effet de retenir et concentrer le lubrifiant dans les creux de la texturation permettant d'améliorer encore les frottements et de prolonger l'efficacité du lubrifiant.

[0060] En variante, il est possible de combiner l'utilisation de paliers horizontaux et/ou verticaux texturés avec un axe de balancier dont les pivots présentent une partie cylindrique et/ou un bout de pivot texturé.

[0061] Une autre solution pour corriger le coefficient de frottement horizontal haut et/ou bas et/ou vertical de référence consiste à appliquer sur les surfaces déterminées des pivots et/ou des paliers verticaux et/ou horizontaux correspondants un revêtement de surface particulier comme un revêtement du type DLC (diamond like coating), un revêtement du type carbure de tungstène-carbure de silicium (WC-SiC), un revêtement du type lubrifiant solide ou liquide (huile), un revêtement de polytétrafluoroéthylène ou tout autre revêtement de surface approprié permettant de modifier le coefficient de frottement entre deux surfaces en contact. On peut en outre changer les matériaux pour obtenir le coefficient de frottement souhaité.

[0062] De manière générale, il est possible de corriger le coefficient de frottement horizontal haut ou bas de référence ou le coefficient de frottement vertical de référence en appliquant sur les surfaces de contact des pivots de l'oscillateur et/ou de leur palier respectif tout traitement physique ou chimique approprié ayant une influence sur le coefficient de frottement entre lesdites surfaces de contact.

[0063] La présente invention a été décrite ci-dessus en relation avec un axe de balancier et ses paliers de pivotement. Il est envisageable d'appliquer l'enseignement de l'invention à un oscillateur libre ou à d'autres systèmes pivoté entre paliers comme l'axe de l'ancre d'un échappement à ancre notamment.

Revendications

1. Procédé de correction de la marche et/ou de l'amplitude aux positions pour un oscillateur de pièce d'horlogerie de type balancier-spiral comprenant les étapes suivantes :

- fournir un mouvement d'horlogerie comprenant un oscillateur de type balancier spiral ainsi qu'un mécanisme d'échappement pour l'entretien des oscillations dudit oscillateur, l'oscillateur comprenant un axe de balancier terminé par des premier et second pivots, agencés pour pivoter dans des paliers dont deux paliers hori-

zontaux et deux paliers verticaux de sorte que dans les positions verticales de l'oscillateur, les premier et second pivots sont chacun en appui dans un palier vertical correspondant tandis qu'en position horizontale bas HB, le premier pivot de l'oscillateur (4c) est en appui sur un premier palier horizontal dit palier HB (8) et dans la position horizontale haut HH, le second pivot de l'oscillateur (3c) est en appui sur un second palier horizontal dit palier HH (7) ;

- déterminer, pour l'oscillateur fourni, les courbes d'isochronismes (marche en fonction de l'amplitude) dans les six positions type (HH, HB, VD, VG, VH, VB) lorsque ledit oscillateur est placé dans le mouvement d'horlogerie et que ses oscillations sont entretenues par le mécanisme d'échappement et déterminer le décalage fond verre en marche aux amplitudes maximales, le décalage plat-pendu en marche aux amplitudes maximales et le décalage plat-pendu en amplitude ;

- déterminer au moins un des coefficients de frottement suivants :

- Le coefficient de frottement entre le premier pivot (4) et son palier HB, appelé coefficient de frottement horizontal bas de référence ;
- Le coefficient de frottement entre le second pivot (3) et son palier HH, appelé coefficient de frottement horizontal haut de référence ;
- Le coefficient de frottement entre les premier et second pivots (3, 4) et les paliers verticaux (5, 6) appelé coefficient de frottement vertical de référence ;

- Modifier au moins un des coefficients de frottement de référence horizontal haut ou horizontal bas ou vertical pour corriger le décalage fond-verre en marche et/ou le décalage plat-pendu en marche et/ou le décalage plat-pendu en amplitude.

2. Procédé selon la revendication précédente, **caractérisé par le fait que** pour modifier au moins un des coefficients de frottement de référence horizontal haut ou horizontal bas ou vertical, un traitement physique ou chimique est appliqué sur les surfaces de contact des premiers ou second pivot et/ou des paliers horizontaux et/ou verticaux correspondant.

3. Procédé selon la revendication précédente **caractérisé par le fait que** le traitement physique ou chimique comprend une texturation de surface ou l'application d'un revêtement de surface.

4. Procédé selon l'une des revendications précéden-

tes, **caractérisé par le fait que** l'un des coefficients de frottement horizontal haut ou bas de référence est diminué de sorte à améliorer et réduire le décalage fond-verre en marche.

5

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé par le fait que** les deux coefficients de frottement horizontal haut ou bas de référence sont diminués de sorte à améliorer et réduire le décalage plat-pendu en marche.

10

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé par le fait que** le coefficient de frottement vertical de référence est diminué de sorte à améliorer et réduire le décalage plat pendu en amplitude.

15

7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé par le fait que** le coefficient de frottement vertical de référence est augmenté de sorte à améliorer et réduire le décalage plat-pendu en marche.

20

25

30

35

40

45

50

55

Fig.1a

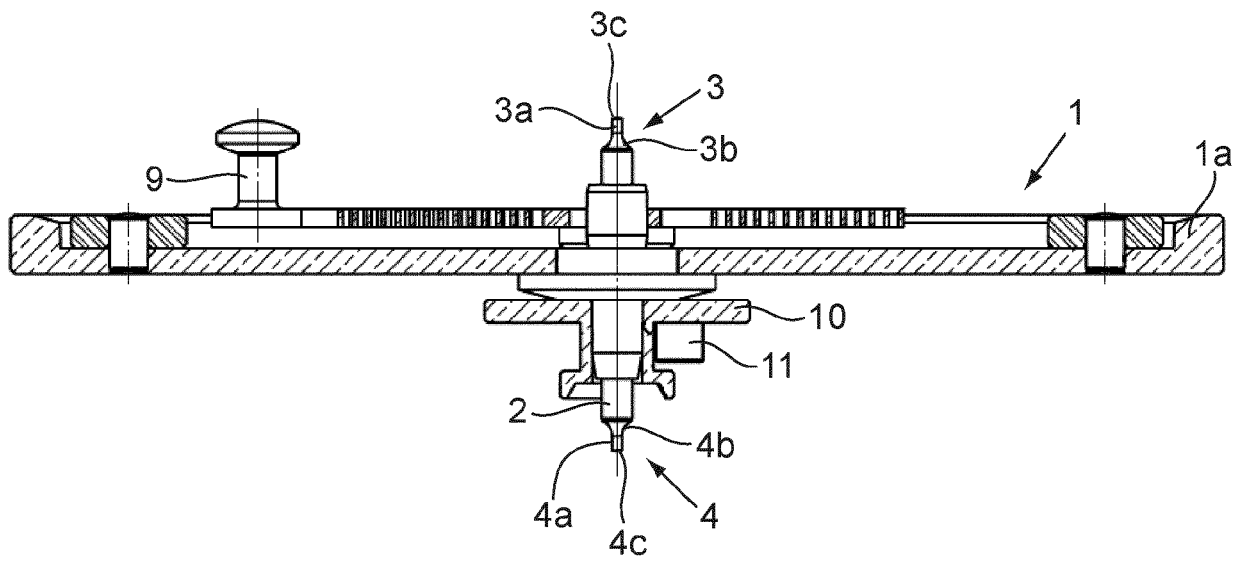


Fig.1b

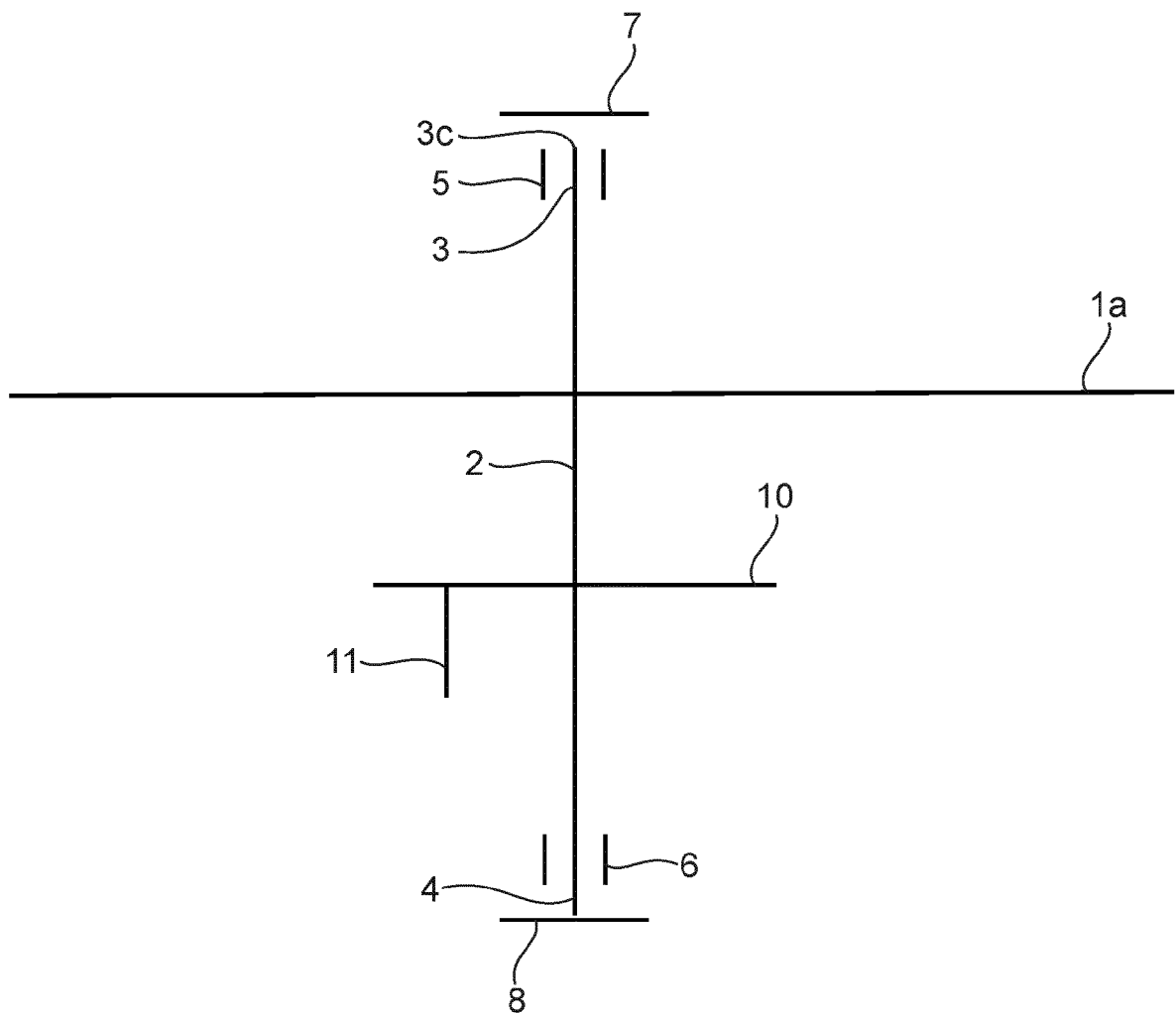


Fig.2a

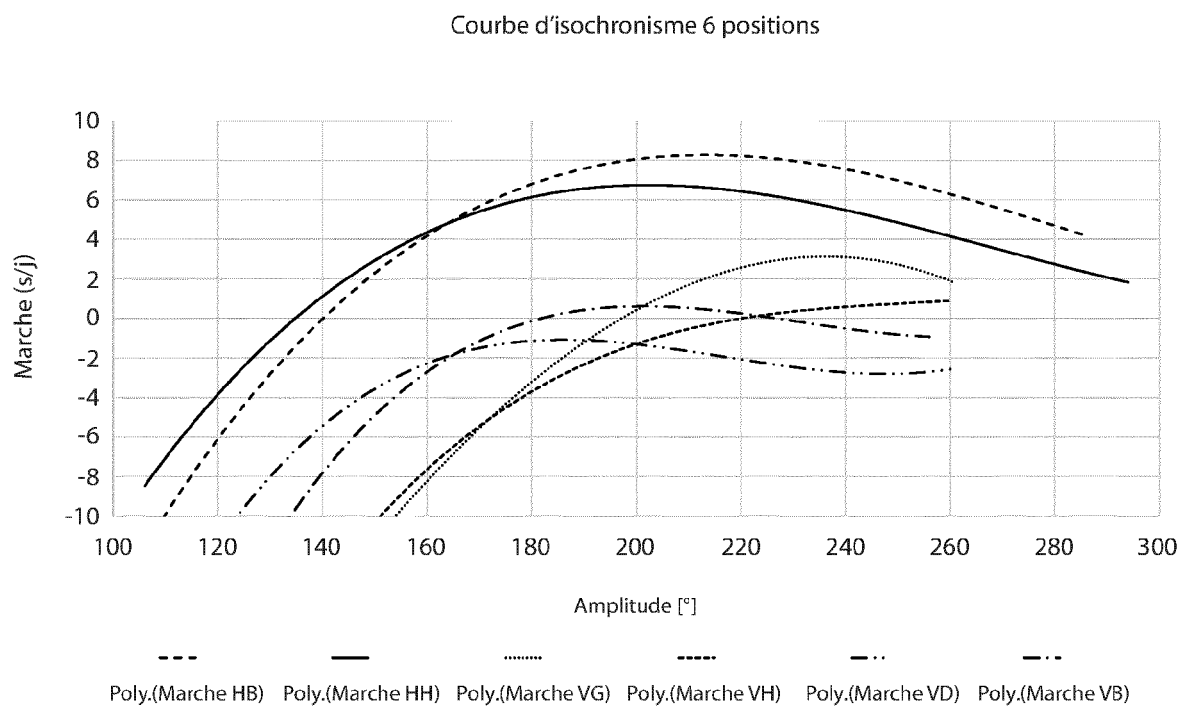


Fig.2b

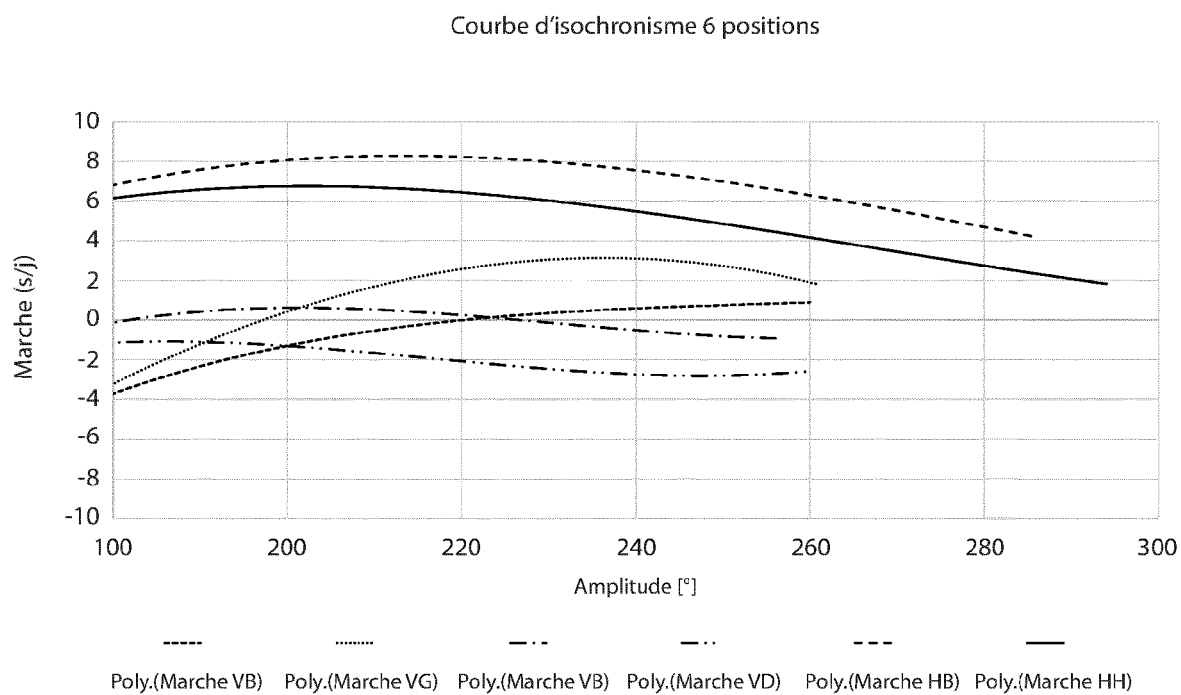


Fig.3

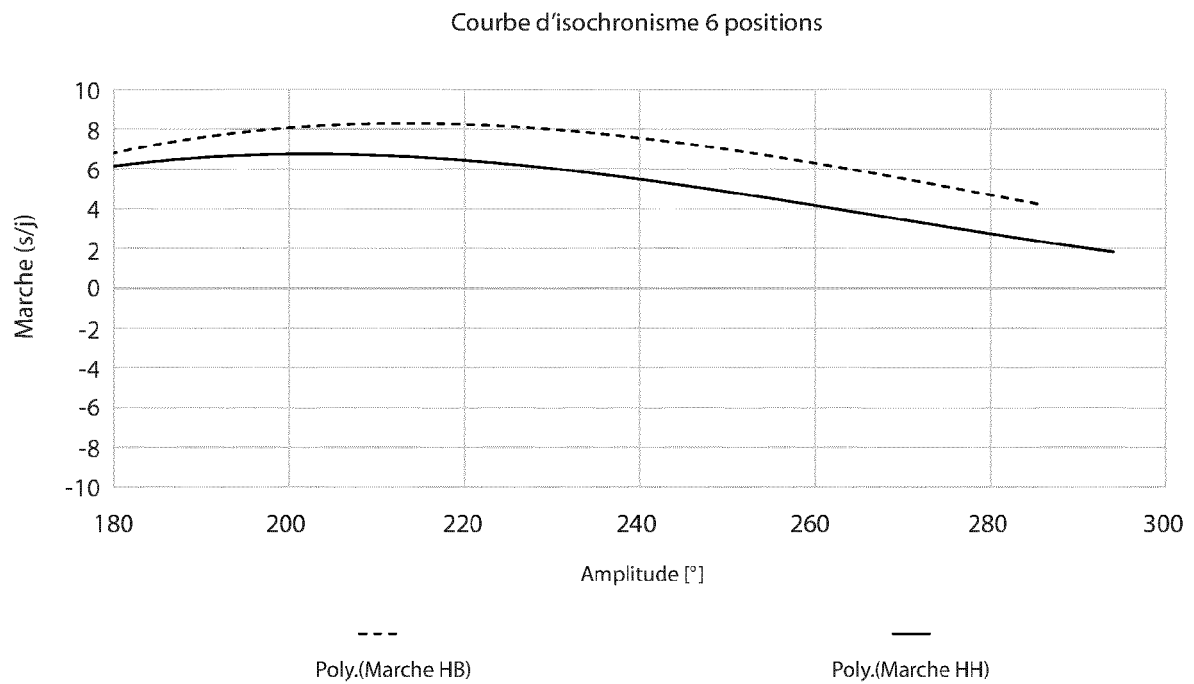


Fig.4

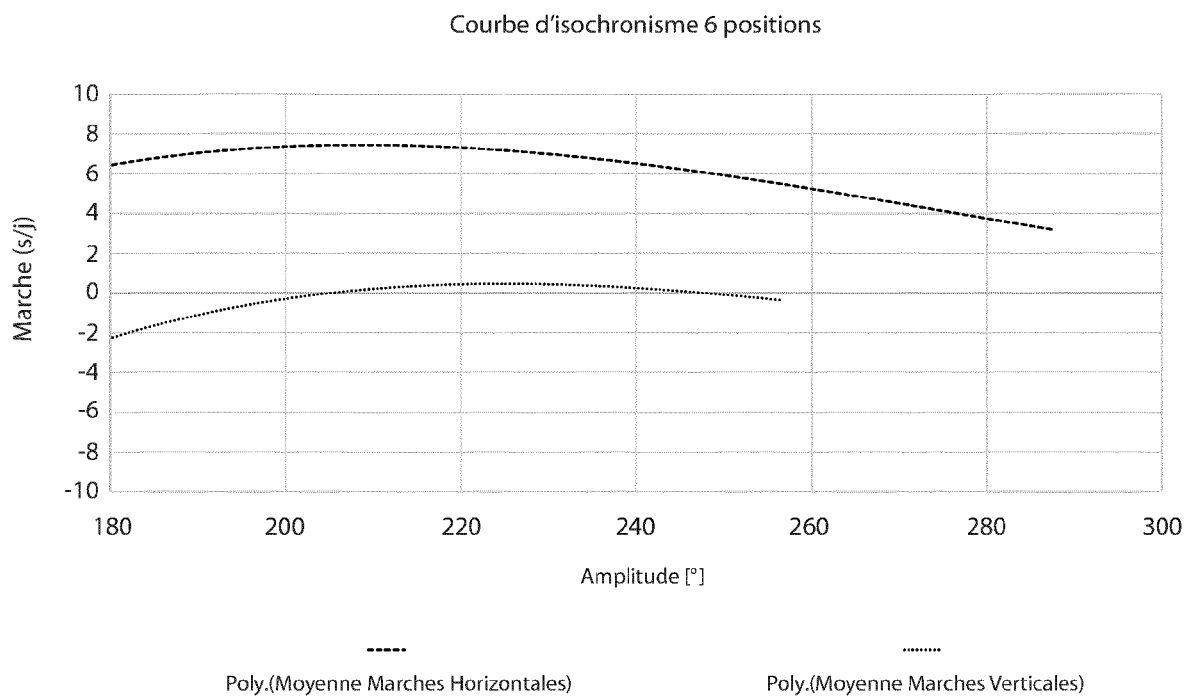


Fig.5

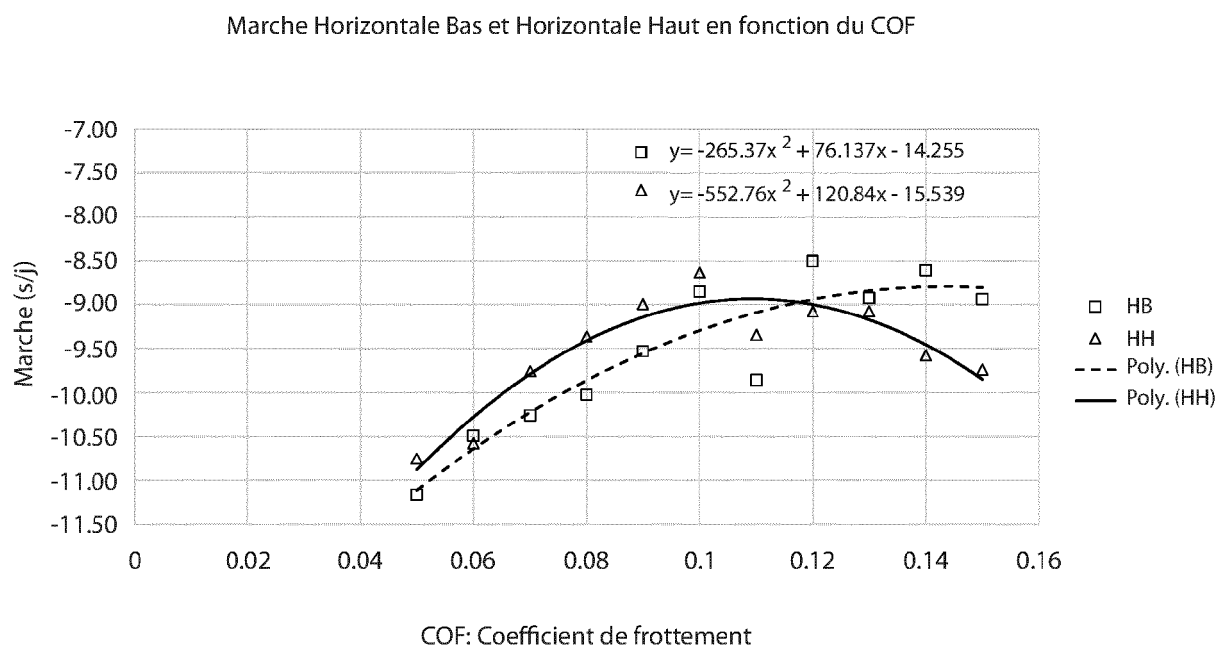


Fig.6

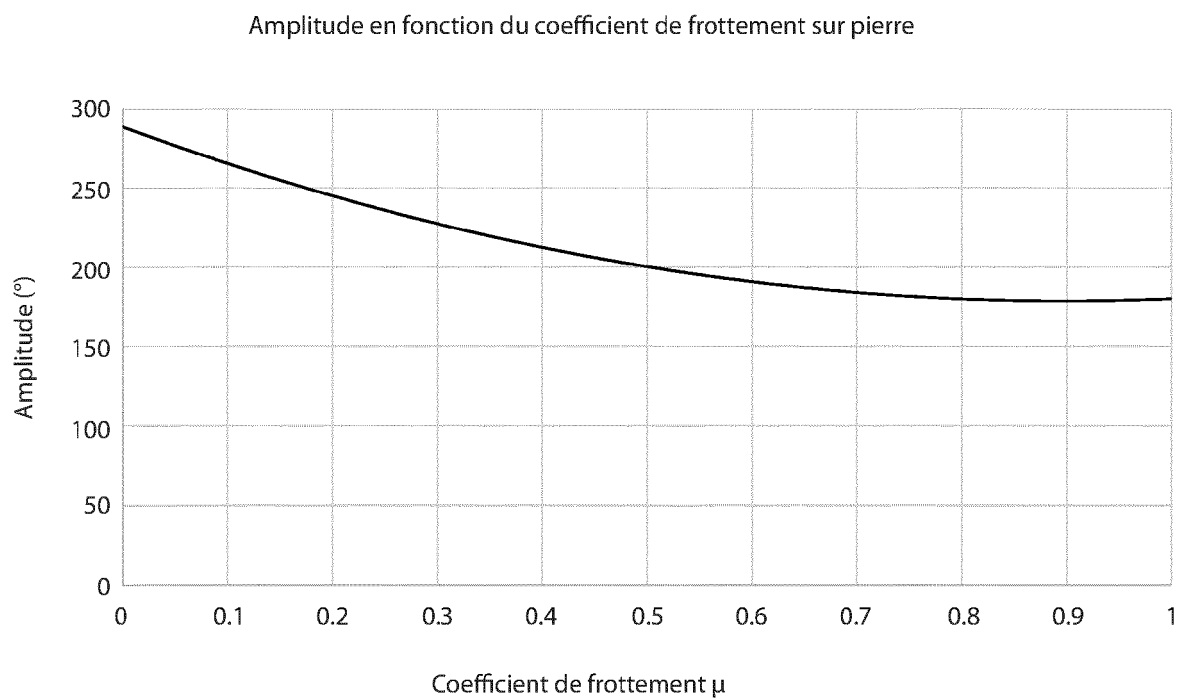


Fig.7

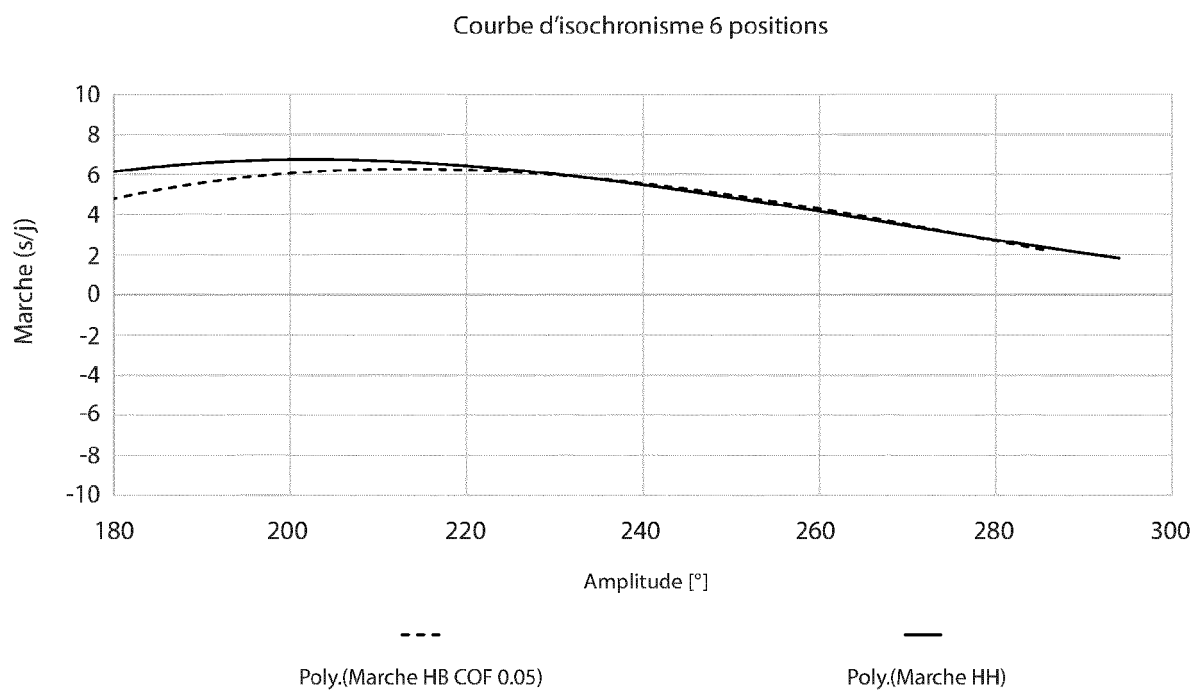


Fig.8

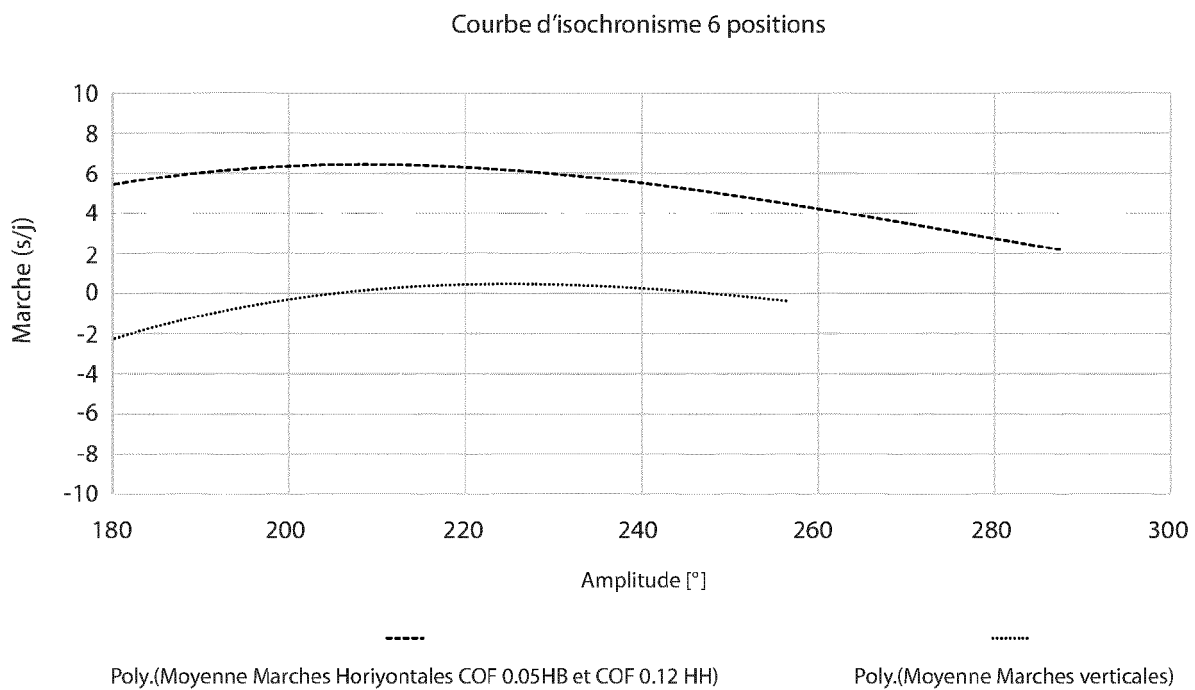


Fig.9

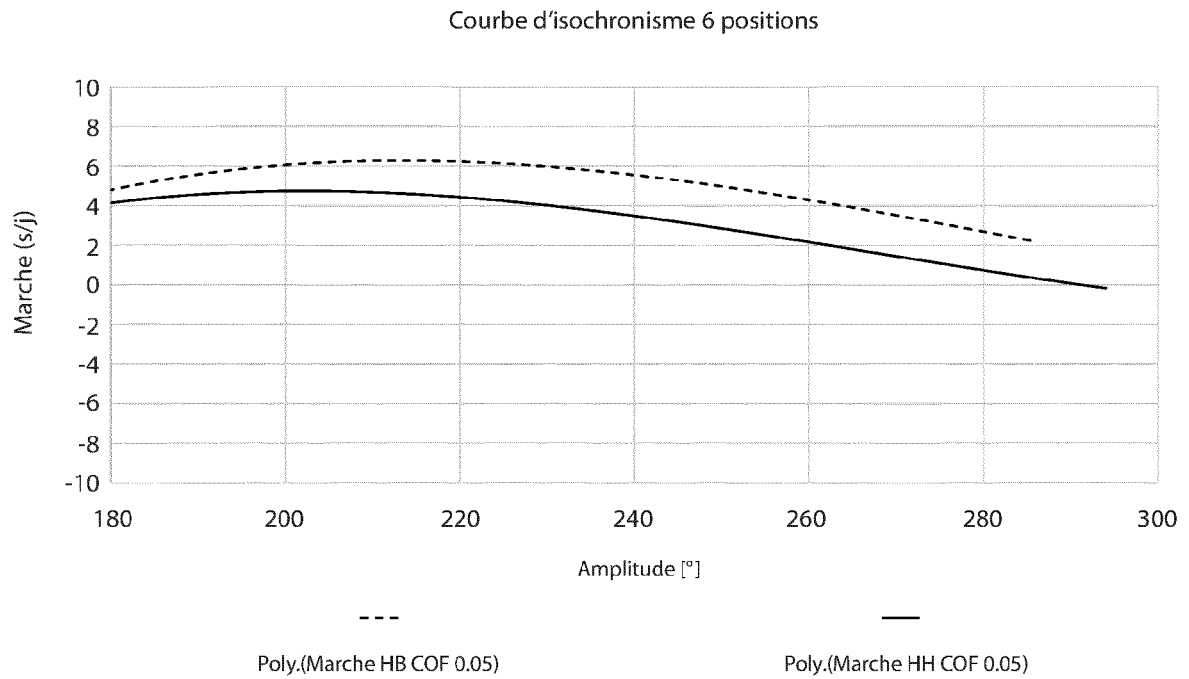
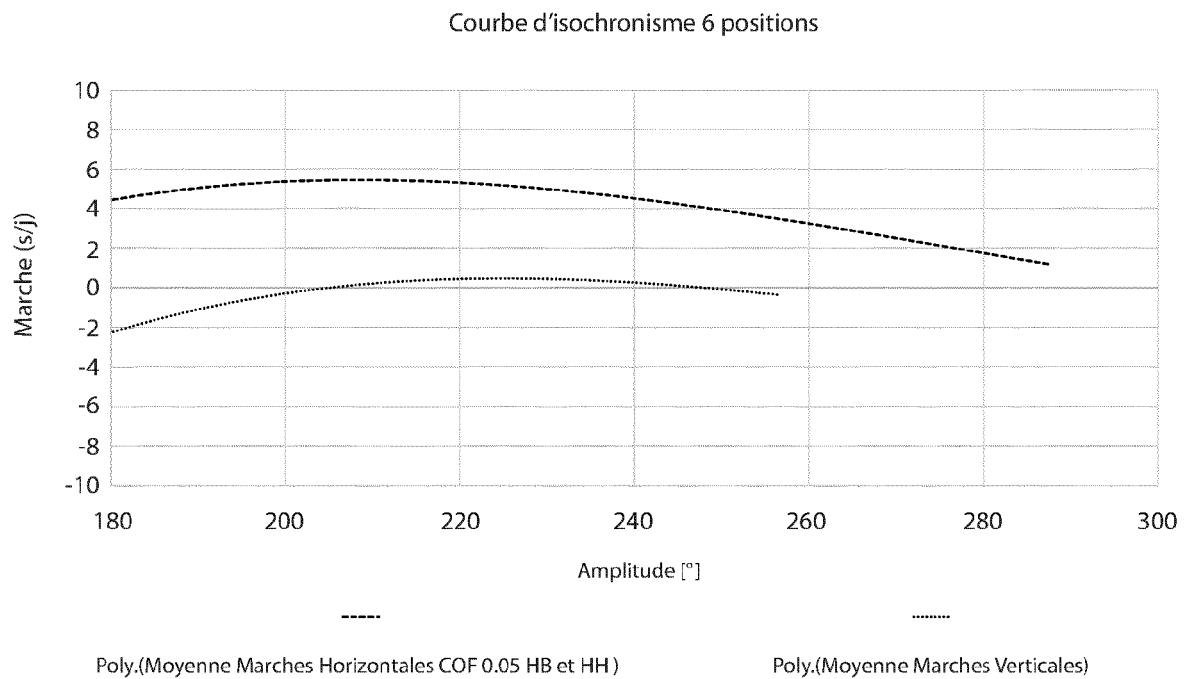


Fig.10





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 19 21 8486

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	EP 2 551 732 A1 (ROLEX SA [CH]) 30 janvier 2013 (2013-01-30) * alinéa [0002] - alinéa [0009] * * alinéa [0023] - alinéa [0024] * * alinéa [0037] - alinéa [0039] * * figures 1-11 *	1-7	INV. G04B17/06
A	CH 708 217 A2 (BREITLING MONTRES SA [CH]) 15 décembre 2014 (2014-12-15) * alinéa [0002] - alinéa [0013] *	1-7	
A	EP 1 986 059 A1 (ETA SA MFT HORLOGERE SUISSE [CH]) 29 octobre 2008 (2008-10-29) * alinéa [0003] - alinéa [0008] * * alinéa [0016] - alinéa [0023] * * figures 1-5 *	1-7	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			G04B
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		24 juin 2020	Jacobs, Peter
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

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

EP 19 21 8486

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

24-06-2020

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 2551732 A1	30-01-2013	CH 705292 A2	31-01-2013
		CN 102902193 A	30-01-2013
		EP 2551732 A1	30-01-2013
		JP 6231264 B2	15-11-2017
		JP 2013033037 A	14-02-2013
		US 2013028056 A1	31-01-2013

CH 708217 A2	15-12-2014	AUCUN	
EP 1986059 A1	29-10-2008	AT 487965 T	15-11-2010
		CN 101669075 A	10-03-2010
		EP 1986059 A1	29-10-2008
		EP 2142965 A2	13-01-2010
		HK 1142693 A1	10-08-2012
		JP 5524827 B2	18-06-2014
		JP 2010539440 A	16-12-2010
		US 2011164478 A1	07-07-2011
		WO 2008132135 A2	06-11-2008

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