



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
06.11.2024 Bulletin 2024/45

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
G04D 7/00 ^(2006.01) **G04D 7/06** ^(2006.01)
G04D 7/12 ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **24171653.9**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
G04D 7/002; G04D 7/06; G04D 7/1271

(22) Date de dépôt: **22.04.2024**

(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 MC ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA
Etats de validation désignés:
GE KH MA MD TN

(72) Inventeurs:
• **GEORGES, Frédéric**
25500 Morteau (FR)
• **HERAUD, Alexis**
74370 Argonay (FR)
• **STEINER, Olivier**
2014 Bôle (CH)

(30) Priorité: **02.05.2023 EP 23170978**

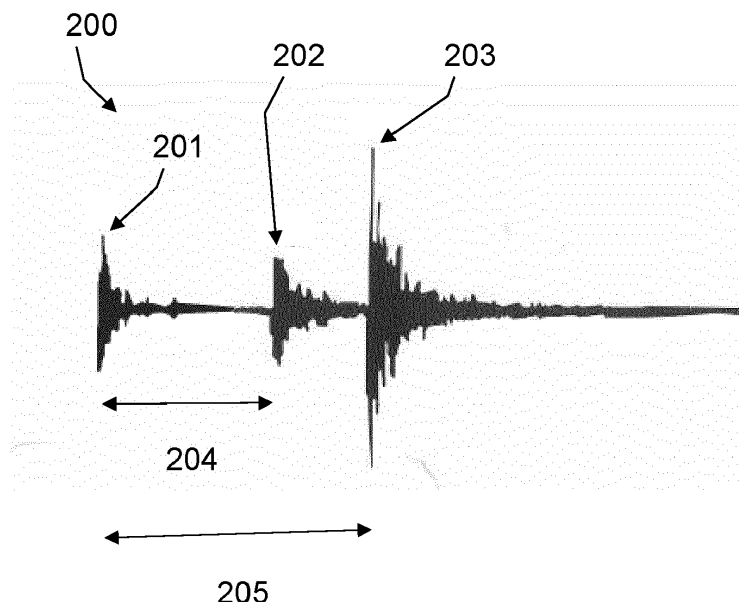
(74) Mandataire: **Novagraaf International SA**
Chemin de l'Echo 3
1213 Onex, Geneva (CH)

(71) Demandeur: **Richemont International S.A.**
1752 Villars-sur-Glâne (CH)

(54) **MESURES ACOUSTIQUES SUR UN ECHAPPEMENT HORLOGER**

(57) Procédé de diagnostic pour régler un échappement horloger,
l'échappement horloger comprenant une roue d'échappement ayant une pluralité de dents, et une ancre ayant au moins une palette,
le procédé comprenant les étapes suivantes :
- fournir la roue d'échappement, et l'ancre agencée pour coopérer avec la pluralité de dents,
- procéder à une détection acoustique d'un fonctionnement de la roue d'échappement avec l'ancre, une pluralité de sons étant émis pendant le fonctionnement, lors de contacts d'au moins une dent de la pluralité de dents avec l'au moins une palette,
- pour l'au moins une dent de la pluralité de dents, détecter au moins deux signaux sonores d'échappement relatifs à cette dent parmi la pluralité de sons, déterminer une durée écoulée (204) entre les deux signaux sonores d'échappement (201, 202) relatifs à cette dent, et en déduire une distance de pénétration de l'au moins une palette sur cette dent.

Fig. 2



Description

[0001] La présente invention concerne de manière générale le domaine de l'horlogerie, plus particulièrement le domaine de la détection de défaut sur les composants et les assemblages.

[0002] La présente invention a pour but de proposer une nouvelle façon de détecter un défaut de réglage de composants horlogers et de proposer un réglage de ceux-ci afin de le rendre conforme.

[0003] La détection acoustique en tant que telle est connue de l'art antérieur.

[0004] En outre, le document CH691992 divulgue une mesure d'amplitude de balancier par mesure optique, une mesure du temps de parcours du balancier par une analyse des sons émis, et une détermination d'un angle de parcours basée sur l'amplitude et le temps de parcours.

[0005] De plus, une méthode existante repose sur des mesures optiques directes par traitement d'image (par exemple Divalog ou LecControl). Ces mesures nécessitent un mouvement sans balancier et un accès optique au contact dent sur palette. Mais la justesse et la répétabilité des mesures optiques est un point d'attention. Sur une répétition de mesures sur plusieurs mouvements, la précision de mesure n'est pas satisfaisante par rapport à l'objectif demandé, même dans le cas où les mesures sont cohérentes en relatif (par exemple ordre relatif et delta). En outre, en production, la mesure optique (par exemple Divalog) vient dès l'assemblage de l'ancre et du pont d'ancre dans la gamme d'assemblage. La mesure optique s'intercale dans la gamme de fabrication avant la lubrification de l'échappement et la pose du balancier. Lorsque le mouvement est en fonctionnement réel, les rattrapages des jeux et les composantes dynamiques modifient les pénétrations réelles d'une valeur inconnue et non mesurable.

[0006] En outre, la variabilité de la mesure optique étant trop grande par rapport aux espérances, il est nécessaire de trouver un moyen de référence plus fiable.

[0007] Aussi, l'art antérieur ne permet pas de diagnostiquer, d'une manière fiable et en fonctionnement, une distance de pénétration de palette sur des dents de roue d'échappement en fonctionnement ni de proposer un réglage afin d'arriver à une position désirée.

[0008] Ainsi, il est souhaité de pouvoir proposer une méthode permettant de diagnostiquer la distance de pénétration de palette sur les dents de roue d'échappement et de proposer un réglage afin d'obtenir un assemblage des composants conformes, tout en réduisant l'effort et le coût nécessaire à cette fin pour l'horloger.

[0009] Singulièrement, une détection piézo-acoustique multimodes ou encore plus avantageusement une détection stéthoscopique acoustique et ultrasonique permettent d'atteindre une fidélité suffisante en justesse et en précision pour un tel diagnostic, ainsi que sa facilité de mise en oeuvre.

[0010] Dès lors, l'invention concerne un procédé de diagnostic acoustique d'une distance de pénétration d'au moins une palette sur une dent d'une pluralité de dents d'un échappement horloger,

l'échappement horloger comprenant une roue d'échappement ayant la pluralité de dents, et une ancre ayant l'au moins une palette,

le procédé comprenant les étapes suivantes :

- fournir la roue d'échappement ayant la pluralité de dents, et l'ancre agencée pour coopérer avec la pluralité de dents,
- procéder à une détection acoustique d'un fonctionnement de la roue d'échappement avec l'ancre, une pluralité de sons étant émis pendant le fonctionnement, lors de contacts d'au moins une dent de la pluralité de dents avec l'au moins une palette,
- pour la dent de la pluralité de dents, détecter au moins deux signaux sonores d'échappement relatifs à cette dent parmi la pluralité de sons, déterminer une durée écoulée entre les deux signaux sonores d'échappement relatifs à cette dent coopérant avec l'au moins une palette, et en déduire la distance de pénétration de l'au moins une palette sur la dent.

[0011] On entend par pénétration une distance d'engagement de la palette avec la dent de la roue, en particulier sur un plan de repos de la palette. On entend par durée un espace de temps, une période mesurable pendant lequel a lieu un événement, un phénomène, une action.

[0012] L'invention permet de proposer un diagnostic permettant de déduire une distance de pénétration de palette sur au moins une dent de roue d'échappement, et ainsi déduire s'il convient de procéder à un réglage des composants et/ou de l'assemblage. Ainsi, ceci permet d'éviter un réglage inutile ou de permettre un réglage plus efficient ou plus précis pour l'horloger, c'est-à-dire de limiter l'effort (physique et mental) pour l'horloger, via une interface graphique ou un autre type d'interface, comme une interface sonore. Cela permet en outre une meilleure gestion des pénétrations. Il est ainsi possible d'informer l'homme de métier sur la correction éventuelle à apporter, et de préférence en temps réel, c'est-à-dire que cela améliore la compréhension et la connaissance de l'échappement. La machine de prédiction permet ainsi de prédire si la distance de pénétration est correcte, et ainsi proposer une correction ou une consigne de réglage.

[0013] En effet, la gestion des pénétrations de l'échappement est un prérequis à son bon fonctionnement.

[0014] Si la pénétration est trop importante, il existe un risque à avoir un chemin perdu trop faible voire inexistant, se concrétisant par un blocage du système. Le système perd alors inutilement de l'énergie à se libérer et cela nuit au rendement du système.

5 **[0015]** Si la pénétration est trop faible, il existe un risque de rebat, un risque de mauvaise chronométrie, en particulier si la phase de repos n'est pas établie correctement (cas de choc), voire à l'extrême en cas de pénétration nulle, le système peut ne pas fonctionner.

[0016] De préférence, les au moins deux sons correspondent aux sons du dégagement et de l'impulsion.

10 **[0017]** Avantageusement, le procédé comprend l'étape consistant à :

- procéder à une détection acoustique de fidélité de caractérisation suffisante en justesse et en précision d'un fonctionnement de la roue d'échappement avec l'ancre, une pluralité de sons étant émis pendant le fonctionnement, lors de contacts d'au moins une dent de la pluralité de dents avec l'au moins une palette.

15 **[0018]** Avantageusement, le procédé de diagnostic comprend en outre l'étape suivante :

- comparer la distance de pénétration de l'au moins une palette sur la dent avec une distance de pénétration prédéterminée.

20 **[0019]** Ceci permet de proposer un diagnostic permettant de comparer la distance de pénétration avec une valeur idéale ou souhaitée afin d'éviter un réglage inutile ou de permettre un réglage plus efficient.

[0020] Avantageusement, le procédé de diagnostic comprend en outre l'étape suivante :

- 25
- proposer un réglage de pénétration, de sorte à rapprocher la distance de pénétration déduite de la distance de pénétration prédéterminée.

[0021] Ceci permet de proposer de déterminer s'il convient de procéder à un réglage des composants et/ou de l'assemblage et de quelle manière, afin de porter assistance à l'horloger réglant l'ensemble, et lui éviter la lourde tâche d'essais et de tâtonnements successifs.

30 **[0022]** Avantageusement, le réglage de pénétration est choisi parmi un déplacement de l'au moins une palette dans un logement de palette de l'ancre, un changement de l'au moins une palette, un changement de la roue d'échappement ou un déplacement de l'entraxe entre l'ancre et la roue d'échappement. L'entraxe peut être défini comme une distance entre la tige d'ancre et l'axe de rotation de la roue d'échappement.

35 **[0023]** Ceci permet de proposer un réglage et de guider l'horloger afin d'économiser ses efforts et de permettre de gagner du temps, tout en améliorant la qualité, la fiabilité et la reproductibilité.

[0024] Avantageusement, le procédé comprend en outre les étapes suivantes :

- 40
- mesurer une amplitude de fonctionnement d'un balancier coopérant avec l'ancre,
 - déduire la distance de pénétration de l'au moins une palette sur cette dent en fonction de la durée écoulée entre les deux signaux sonores d'échappement relatifs à cette dent et l'amplitude de fonctionnement du balancier.

[0025] De préférence, les deux signaux sonores correspondent aux sons du dégagement et de l'impulsion de la palette avec la dent.

45 **[0026]** Avantageusement, le procédé comprend les étapes suivantes :

- mesurer l'amplitude de fonctionnement du balancier coopérant avec l'ancre,
- déduire la distance de pénétration de l'au moins une palette sur plusieurs dents de la pluralité de dents en fonction de la durée écoulée entre les deux signaux sonores d'échappement relatifs à chaque dent et de l'amplitude de fonctionnement du balancier.

50 **[0027]** Avantageusement, le réglage de pénétration globale est choisi parmi un déplacement de l'au moins une palette dans un logement de palette de l'ancre (également appelée système de palettes), un changement de l'au moins une palette, un changement de la roue d'échappement ou un déplacement de l'entraxe entre l'ancre et la roue d'échappement.

55 **[0028]** On entend par déplacement de la palette dans son logement de palette le fait d'enfoncer ou de faire sortir la palette de son logement. Il est en outre possible de prévoir un décottage des palettes, ou en cas extrême (ou si nécessaire ou plus efficace) un changement de palette(s) ou de roue.

[0029] Ceci permet d'améliorer la déduction de la distance de pénétration par couplage d'une mesure acoustique et d'une mesure optique, et en outre de tirer profit de la pluralité de dents ou pour lisser les caractéristiques sur la pluralité

de dents afin de confirmer la déduction ou d'éviter des faux-positifs ou des faux négatifs.

[0030] Avantageusement, le procédé comprend en outre l'étape suivante :

- pour plusieurs dents de la pluralité de dents, détecter au moins deux signaux sonores d'échappement relatifs à chaque dent parmi les plusieurs dents, déterminer une durée écoulée entre les deux signaux sonores d'échappement relatifs à chaque dent, et en déduire une distance de pénétration de l'au moins une palette sur chaque dent.

[0031] Avantageusement, le procédé comprend en outre l'étape suivante :

- établir une distance de pénétration spécifique à plusieurs dents de la pluralité de dents basée sur la distance de pénétration de l'au moins une palette sur chaque dent.

[0032] Avantageusement, la distance de pénétration spécifique à plusieurs dents est choisie parmi :

- une médiane des distances de pénétration de l'au moins une palette sur chaque dent,
- une moyenne des distances de pénétration de l'au moins une palette sur chaque dent,
- une régression linéaire des distances de pénétration de l'au moins une palette sur chaque dent,
- une caractéristique commune des distances de pénétration de l'au moins une palette sur chaque dent,
- une caractéristique représentative des distances de pénétration de l'au moins une palette sur chaque dent, ou
- une fonction des distances de pénétration de l'au moins une palette sur chaque dent.

[0033] Avantageusement, le procédé comprend en outre les étapes suivantes :

- comparer la distance de pénétration spécifique à plusieurs dents avec la distance de pénétration prédéterminée.
- proposer un réglage de pénétration globale, de sorte à rapprocher la distance de pénétration spécifique à plusieurs dents de la distance de pénétration prédéterminée. Ceci permet de prendre en compte les caractéristiques des autres dents et ainsi de fiabiliser la déduction et le procédé, en particulier grâce à une base statistique plus développée ou robuste.

[0034] Avantageusement, le procédé de diagnostic comprend en outre l'étape suivante

- déterminer un angle de levée,
- calculer une amplitude de fonctionnement du balancier,
- calculer un angle de dégagement,
- calculer la distance de pénétration.

[0035] Pour chaque passage de dent en contact avec l'une des palettes, un son (ou plusieurs sons) est émis, qui peut correspondre au moins en partie aux sons dits « TIC » ou aux sons dits « TAC », de façon conventionnelle. Il est ainsi possible de prévoir de détecter les sons aux TIC et aux TAC, de prendre en considération les caractéristiques aux TIC et aux TAC pour une même dent ou pour toutes les dents, de sorte à fiabiliser la déduction, et en particulier grâce à une base statistique plus développée ou robuste. Il est en outre possible de répéter les opérations sur la palette d'entrée et/ou de sortie, au TIC et au TAC, afin de renforcer la déduction et la qualité du procédé.

[0036] Ainsi, on peut définir par « TIC » le son lié au contact entre une dent de la roue d'échappement avec le plan de repos d'une première palette, et par « TAC » le son lié au contact entre une dent de la roue d'échappement avec le plan de repos d'une deuxième palette, c'est-à-dire que le « TIC » et le « TAC » sont un premier et un deuxième son caractéristique du contact entre le plan de repos d'une première et respectivement d'une deuxième palette. On peut considérer le « TIC » comme le son d'entrée et le « TAC » comme le son de sortie de l'ancre pour ladite dent de la roue d'échappement.

[0037] Avantageusement, les sons émis pendant le fonctionnement sont synchrones.

[0038] On entend par synchrone un événement qui se produit au même moment qu'un autre ou à intervalles réguliers par rapport à un autre.

[0039] Avantageusement, le procédé comprend en outre l'étape suivante :

- utiliser un capteur, de préférence un capteur piézo-acoustique, afin de capter la pluralité de sons.

[0040] Ceci permet de capter les sons afin de mettre en oeuvre le procédé de diagnostic. Le capteur piézo-acoustique a notamment un bon rapport signal/bruit sur une large bande fréquentielle. Il est en outre possible de prévoir avec ce capteur piézo-acoustique un fonctionnement en multimodes afin d'obtenir un haut rapport signal-bruit sur une large gamme de fréquence via les modes propres de vibration. Ceci présente l'avantage de pouvoir aller à haute fréquence, d'améliorer la rapidité de montée du signal sonore et d'obtenir une meilleure précision temporelle. Une mesure via contact direct (transmission solidienne, par exemple par une couronne) est possible. Il est en outre possible de couper les basses fréquences afin d'isoler les bruits ambiants.

[0041] Avantageusement, le procédé comprend en outre l'étape suivante :

- utiliser un capteur, de préférence un capteur avec une pluralité de microphones ultrasoniques, par exemple digitaux, afin de capter la pluralité de sons.

[0042] La technologie MEMS (microsystème électromécanique) permet de couvrir une large bande passante (par exemple 100Hz - 80kHz), tout en autorisant une mesure sans contact en champ proche (de type stéthoscope). La pluralité de capteur peut comprendre quatre capteurs par exemple.

[0043] Pour des mesures de type chronométrie, il est possible de couper les basses fréquences afin d'isoler les bruits ambiants

Il est possible d'installer la montre sur une structure comprenant le capteur avec un (ou plusieurs) accès acoustique(s), de préférence une feutrine, une microcavité de couplage et un (ou plusieurs) accès acoustique afin de permettre au capteur d'avoir une plus grande sensibilité aux sons du mouvement.

[0044] Les différents capteurs mentionnés ci-avant permettent une écoute plus fine, plus fidèle, et donc à plus grande capacité de reconnaissance par l'obtention d'une plus grande quantité d'information, par l'extension de la bande vers les hautes fréquences qui contiennent une énergie acoustique utile, par l'obtention d'une information moins perturbée par l'environnement acoustique (et vibratoire), par le fait de la dissipation rapide des longueurs d'ondes courtes dans l'air et dans les solides, par l'obtention d'une information moins perturbée par l'environnement connectique et électrique, par la numérisation des signaux au plus près de la source de transduction, par l'obtention d'un très faible bruit propre par la multiplication de transducteurs appariés, par la possibilité de mise en oeuvre des techniques de reconstruction cohérente, de décalage temporel, de convolution, de filtrage et de focalisation, c'est-à-dire plus précisément toutes les méthodes de traitement de signal et d'algorithmes d'antennerie acoustique par réseaux de microphones et applicables en champ proche. En outre, par l'emploi de transducteurs miniatures de sensibilité connue et appariés d'usine en amplitude et en phase, et pour toute leur durée de vie, la technologie ne nécessite pas de calibration initiale, ni périodique.

[0045] Avantageusement, le procédé comprend en outre l'étape suivante :

- utiliser un dispositif d'acquisition afin d'enregistrer les données sonores captées.

[0046] Avantageusement, le procédé comprend en outre l'étape suivante :

- utiliser un ordinateur notamment afin de comparer les données sonores captées.

[0047] Avantageusement, le procédé comprend l'étape suivante :

- soumettre la durée écoulée à une machine de prédiction pour déterminer la distance de pénétration de l'au moins une palette sur la dent.

[0048] Avantageusement, la machine de prédiction comprend un processeur et/ou un ordinateur.

[0049] Avantageusement, la machine de prédiction comprend en outre un logiciel de prédiction, tel qu'une intelligence artificielle.

[0050] Avantageusement, la machine de prédiction comprend un ou plusieurs réseaux de neurones, tel qu'un ou plusieurs réseaux de neurones convolutifs.

[0051] Avantageusement, la machine de prédiction peut déterminer la distance de pénétration et catégoriser l'échappement comme conforme ou non conforme, sur la base de la durée écoulée entre les deux signaux sonores d'échappement. Ainsi, la machine de prédiction doit résoudre le problème de la détermination de la distance de pénétration et la catégorisation de l'échappement comme conforme ou non conforme.

[0052] La machine de prédiction reçoit ainsi la durée écoulée, utilise le modèle, et détermine la distance de pénétration.

[0053] Il est en outre possible de fournir à la machine de prédiction, et pour chaque roue ou chaque dent:

la durée écoulée entre deux signaux sonores d'échappement,

la durée d'écoulement attendue.

[0054] Cette phase d'apprentissage permet de bâtir des données de référence étalonnées pour une comparaison ultérieure lors d'une phase de prédiction / production avec recherche de défauts. En particulier, l'apprentissage permet d'obtenir des données de test de pièces de référence ou testées/simulées en parallèle pour construire le modèle. Les pièces de référence peuvent être confirmées par un horloger.

[0055] La machine de prédiction utilise un modèle prédictif qu'il est possible de construire à partir du fonctionnement répété et entraîné.

[0056] Ainsi, il est possible d'entraîner le modèle pour la détection et d'ensuite utiliser le modèle, avec ou sans amélioration du modèle.

[0057] Il convient d'établir un modèle de prédiction qui puisse recevoir en entrée les durées écoulées et donner en sortie un jugement ou une détermination d'un échappement conforme ou non conforme et une consigne de réglage. Il est possible de prévoir, lors de la phase d'apprentissage, de fournir les données relatives aux signaux sonores réels testés, y compris des échappement conformes et des échappement non conformes. Le modèle peut comprendre une phase de corrélation dans laquelle la durée écoulée est reliée à la conclusion de l'échappement conforme ou non conforme.

[0058] Une fois la phase d'apprentissage terminée, on peut passer à une phase de prédiction, par exemple lors d'un procédé de contrôle des échappements.

[0059] Un second aspect de l'invention concerne un procédé de réglage comprenant les étapes suivantes :

- réaliser le procédé de diagnostic selon le premier aspect,
- émettre une consigne d'utilisation ou une consigne de réglage à un utilisateur.

[0060] Avantageusement, le procédé comprend l'étape suivante :

- afficher sur un afficheur la consigne d'utilisation ou la consigne de réglage à un utilisateur.

[0061] Avantageusement, la consigne d'utilisation ou la consigne de réglage est affichée sur un dispositif connecté, tel qu'une loupe connectée.

[0062] Avantageusement, la consigne de réglage à un utilisateur correspond au réglage des pénétrations.

[0063] Avantageusement, la consigne de réglage à un utilisateur correspond au réglage des palettes ou au changement de celles-ci.

[0064] Avantageusement, la consigne de réglage à un utilisateur correspond au changement de l'ancre.

[0065] Avantageusement, la consigne de réglage à un utilisateur correspond à un changement de la roue d'échappement, par exemple à cause d'un malrond.

[0066] Ceci permet de proposer un procédé de réglage et une interface homme-machine à un utilisateur, en particulier un horloger, afin de réduire son effort mental et physique pour le réglage de l'ensemble, tout en permettant d'améliorer la qualité, la précision et la répétabilité de l'ensemble. Une loupe connectée est connue par exemple du document CH717263. Une telle loupe électronique d'horloger est destinée à observer un produit horloger, notamment un mécanisme de montre, et est munie:

- d'un objectif grossissant, pour observer le produit horloger,
- de moyens de communication, pour recevoir des données,
- d'un écran d'affichage, pour afficher les données,
- d'un séparateur de faisceau, prévu pour diriger simultanément vers un oeil d'un utilisateur au moins une image du produit horloger provenant de l'objectif grossissant et au moins une image de l'écran d'affichage. La loupe électronique peut comprendre en outre une caméra d'acquisition, pour acquérir au moins une image du produit horloger, les moyens de communication étant prévus pour envoyer à un utilisateur distant l'image du produit horloger acquise par la caméra d'acquisition, le séparateur de faisceau étant prévu pour diriger simultanément vers la caméra d'acquisition au moins une image du produit horloger provenant de l'objectif grossissant et au moins une image de l'écran d'affichage.

[0067] Un troisième aspect de la présente invention concerne un procédé d'apprentissage d'une machine de prédiction, comprenant les étapes suivantes :

- faire fonctionner une roue d'échappement avec une ancre ayant au moins une palette,
- enregistrer une pluralité de sons émis pendant le fonctionnement lors de contacts d'au moins une dent d'une pluralité de dents de la roue d'échappement,

- entraîner la machine de prédiction à l'aide d'un modèle et d'une série de sons émis par la roue d'échappement et l'ancre en fonctionnement, de sorte à déterminer une distance de pénétration de l'au moins une palette sur la dent.

[0068] Avantageusement, le modèle est prédéterminé par construction de la roue d'échappement et de l'ancre.

[0069] Avantageusement, le modèle est adapté après avoir fait fonctionner une pluralité de roues, de sorte à modifier des paramètres ou coefficient du modèle construit.

[0070] Avantageusement, le procédé d'apprentissage est réalisé par apprentissage automatique.

[0071] Avantageusement, le procédé d'apprentissage comprend l'utilisation de réseaux de neurones.

[0072] Un autre aspect de la présente invention, qui peut être couplé aux autres aspects, concerne un procédé de détection d'un malrond d'une roue d'un échappement horloger,

l'échappement horloger comprenant la roue d'échappement ayant une pluralité de dents, et une ancre ayant au moins une palette coopérant avec la pluralité de dents,
le procédé comprenant les étapes suivantes :

- fournir la roue d'échappement ayant la pluralité de dents, et l'ancre agencée pour coopérer avec la pluralité de dents,
- procéder à une détection acoustique d'un fonctionnement de la roue d'échappement avec l'ancre, une pluralité de sons étant émis pendant le fonctionnement, lors de contacts d'au moins une dent de la pluralité de dents avec l'au moins une palette,
- pour la dent de la pluralité de dents, détecter au moins deux signaux sonores d'échappement relatifs à cette dent parmi la pluralité de sons, déterminer une durée écoulée entre les deux signaux sonores d'échappement relatifs à cette dent coopérant avec l'au moins une palette, et en déduire un malrond de la roue sur la base d'une évolution de la durée écoulée en fonction de chaque dent.

[0073] Avantageusement, le procédé comprend l'étape consistant à en déduire un malrond de la roue sur la base d'une évolution de l'angle de dégagement en fonction de chaque dent.

[0074] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description détaillée qui suit, de modes de réalisation de l'invention donnés à titre d'exemple nullement limitatif et illustrés par les dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 représente une roue d'échappement coopérant avec une ancre munie de palettes,
- la figure 2 représente une détection acoustique d'un fonctionnement de la roue d'échappement pour une dent,
- la figure 3 représente la durée de dégagement en fonction d'une amplitude d'un balancier couplé à l'ancre à partir de simulations numériques,
- la figure 4 représente une détection sur toutes les dents de la roue,
- la figure 5 représente une vue détaillée de la pénétration d'une palette sur la dent,
- la figure 6 représente un exemple de dispositif de mesure pour mesurer un son et mettre en oeuvre le procédé de diagnostic,
- la figure 7 représente un autre exemple de dispositif de mesure pour mesurer le son et mettre en oeuvre le procédé de diagnostic,
- la figure 8 représente schématiquement un angle de dégagement total et un angle de levée total,
- la figure 9 représente une pénétration en fonction d'un angle d'impulsion,
- la figure 10 représente la pénétration en fonction des dents de la roue,
- la figure 11 représente un angle de dégagement en degré en fonction des dents de la roue.

[0075] La figure 1 représente une roue d'échappement 10 coopérant avec une ancre 100 de façon conventionnelle. Dans un fonctionnement conventionnel, la roue d'échappement 10 a tendance à vouloir tourner car elle est en prise

avec un barillet du mouvement de montre (non représenté) et l'ancre 100 l'empêche de tourner, ou la laisse tourner à une certaine fréquence, et transmet de l'énergie à un oscillateur du mouvement de montre (non représenté) pour l'entretenir.

[0076] L'ancre 100 comprend une fourchette 110 de façon conventionnelle, afin de permettre la coopération avec un axe du balancier.

[0077] L'ancre porte deux palettes 101, 102, de préférence en rubis : c'est la palette d'entrée 101 et la palette de sortie 102. La palette 101 est logée dans un logement de palette d'entrée 101a de l'ancre 100 et la palette 102 est logée dans un logement de palette de sortie 102a de l'ancre 100. L'ancre 100 est mobile en rotation autour d'un axe de rotation d'une tige d'ancre 103 de l'ancre 100. L'ancre pourrait être entièrement métallique ou en silicium, revêtu ou non.

[0078] La roue d'échappement 10 comprend une pluralité de dents 11 et est mobile en rotation autour d'un axe de rotation d'un arbre de roue 12.

[0079] Un contact 15 est présent lors du contact de la dent en contact 13, parmi les dents 11 de la roue d'échappement 10, avec l'une des palettes 101, 102. Dans l'exemple de la figure 1, la roue d'échappement possède vingt dents 11, dont une dent en contact 13 avec la palette d'entrée 101 ou la palette de sortie 102, selon que l'on considère la figure 1 à gauche ou à droite. Le contact 15 peut être par exemple une zone ou une surface.

[0080] A gauche de la figure 1 est représentée la roue d'échappement 10 et l'ancre 100, dans une position dans laquelle la dent en contact 13 (parmi les dents 11) est en contact avec la palette d'entrée 101. A droite de la figure 1 est représentée la roue d'échappement 10 et l'ancre 100, dans une position dans laquelle la dent en contact 13 (parmi les dents 11) est en contact avec la palette de sortie 102.

[0081] Le procédé est ainsi détaillé en référence aux figures 1 et 2.

[0082] Pour chaque passage de dent en contact 13 avec l'une des palettes 101, 102, un son (ou plusieurs sons) est émis, qui peut correspondre au moins en partie aux sons dits « TIC » ou aux sons dit « TAC », de façon conventionnelle. Ainsi, comme discuté ci-avant, on peut définir par « TIC » le son lié au contact entre une dent de la roue d'échappement avec le plan de repos d'une première palette, et par « TAC » le son lié au contact entre une dent de la roue d'échappement avec le plan de repos d'une deuxième palette, c'est-à-dire que le « TIC » et le « TAC » sont un premier et un deuxième son caractéristique du contact entre le plan de repos d'une première et respectivement d'une deuxième palette. On peut considérer le « TIC » comme le son d'entrée (i.e. de la palette d'entrée sur la dent) et le « TAC » comme le son de sortie de l'ancre (i.e. de la palette de sortie sur la dent) pour ladite dent de la roue d'échappement.

[0083] La figure 2 représente une détection acoustique d'un fonctionnement de l'échappement, c'est-à-dire de la roue d'échappement 10 pour une dent 11, 13 donnée avec l'ancre 100.

[0084] Il est considéré qu'un signal sonore 200 détecté comprend un premier son 201, un deuxième son 202 et un éventuel troisième son 203 (formant un même groupe de sons ou « cluster » pour la dent considérée sur un passage, les sons étant très rapprochés les uns des autres). Le troisième son 203 est avantageusement utilisé pour s'assurer de la présence et de la consistance du premier son 201 et du deuxième son 202. En d'autres termes, la forme et l'amplitude du troisième son 203 permet de confirmer que le premier son 201 et le deuxième son 202 sont bien les sons que l'on espère détecter. Il est en outre possible d'effectuer cette confirmation en analysant une enveloppe des sons 201, 202 ou en considérant leur amplitude ou tout autre paramètre, comme une distance par rapport à un autre son (par exemple parasite) non représenté. En outre, il est possible d'utiliser le troisième son pour la mesure de l'amplitude du balancier. D'une manière générale, il est considéré que le premier son 201 a lieu lors du premier choc, quand la cheville de plateau touche l'entrée de la fourchette de l'ancre. Le deuxième son 202 a lieu lorsque une dent de la roue d'échappement tombe sur le plan d'impulsion de la palette et que la fourchette de l'ancre rattrape la cheville de plateau. Le troisième son 203, est généralement le plus fort, et se produit lorsqu'une dent de la roue d'échappement tombe sur le plan de repos de la palette (chute) et que la baguette de l'ancre s'appuie contre la goupille de limitation (chemin perdu).

[0085] La durée écoulée 204 entre les deux premiers sons 201, 202 de l'échappement est une fonction des distances de pénétrations (99, visible en figure 5) des palettes 101, 102. La durée écoulée 204 peut être considérée de pic à pic ou à partir d'une valeur moyenne (ou médiane ou caractéristique) du premier son 201 et du deuxième son 202. La durée écoulée 204 peut en outre être une fonction de l'amplitude de fonctionnement du balancier couplé à l'échappement.

[0086] Le procédé de diagnostic permet de mesurer les pénétrations 99 des palettes 101, 102 directement sur le mouvement de montre assemblé, sans accès visuel aux composants. Il suffit d'entendre le bruit de l'échappement et distinguer clairement les trois chocs de l'échappement (il convient d'isoler et de ne pas tenir compte des bruits parasites).

[0087] Dans un mode de réalisation, la mesure peut se faire par analyse du signal acoustique couplé au signal optique du balancier, notamment pour mesurer l'amplitude réelle de fonctionnement du balancier.

[0088] Un modèle numérique fournit une valeur de pénétration correspondant à cette durée écoulée 204 entre les deux premiers sons 201, 202. Il peut s'agir d'une fonction de la durée écoulée 204. Il peut s'agir aussi d'un modèle mathématique fonction de l'amplitude, de l'amplitude au carré, du temps de dégagement, de termes d'interactions, et d'une constante selon le type d'échappement, et traduit la spécification de pénétrations (exprimé en [mm]) en [ms]. En outre, il est possible de connaître l'amplitude soit par construction de l'oscillateur, soit par détection acoustique (comme par exemple avec le troisième son comme discuté ci-avant), soit par détection optique, ou toute combinaison de ceci.

[0089] Un avantage de cette mesure est de se dérouler en temps masqué lors du contrôle chronométrique. Le gain se trouve en décottage de production et service après-vente. Cette stratégie de mesure est intéressante lors du diagnostic de pièces déjà assemblées pour donner un moyen de vérification des pénétrations sans démontage.

[0090] L'avantage de cette mesure est de s'assurer qu'en condition dynamique, l'échappement fonctionne dans son intervalle de tolérance (abrévié IT). Ceci permet d'ajouter une couche de contrôle qualité sans surcoût.

[0091] La figure 3 représente la durée de dégagement (en ordonnées) en fonction d'une amplitude d'un balancier (en abscisses) couplé à l'ancre 100 à partir de simulations numériques.

[0092] Les simulations numériques donnent les temps de dégagement sur l'entrée et la sortie en fonction des pénétrations entrées et sorties.

[0093] Les données d'entrées sont le calibre du mouvement, la pénétration entrée, la pénétration sortie et le couple à la roue.

[0094] Les données de sorties sont l'amplitude, la durée de dégagement d'entrée et la durée de dégagement de sortie.

[0095] L'exploitation des résultats permet de générer un modèle mathématique du dégagement en fonction de l'amplitude de fonctionnement et de la pénétration. Il est possible de construire un modèle du type temps de dégagement $= a - b * \text{amplitude} + c * \text{pénétration} + d * \text{amplitude}^2 + e * \text{pénétration} * \text{amplitude}$ avec a, b, c, d, e des paramètres de construction, le temps de dégagement correspondant à la durée écoulée 204.

[0096] Les faisceaux de courbes délimitent les temps de dégagement attendus pour des pénétrations 99 dans les tolérances. Il est possible de faire une ou plusieurs campagnes de mesures pour se donner plus de données statistiques et rendre ainsi plus robuste le modèle théorique numérique.

[0097] Pour une pénétration donnée, classiquement la durée de dégagement est plus grande à la sortie (due aux bras de levier asymétriques de l'ancre) qu'à l'entrée. On projette les temps mesurés sur la simulation numérique, la lecture de la position relative du point comparé à la position des courbes donne une valeur de pénétration pour la pièce.

[0098] Pour la proposition de réglage, si la position de la mesure se trouve en dehors des bornes, la lecture de la position relative donne la valeur de la retouche à apporter. On peut directement utiliser la formule pour calculer ces valeurs.

[0099] Deux aires bien différenciées assurent une bonne reconnaissance et la bonne association du son de la palette d'entrée et du son de la palette de sortie. Les courbes 210 correspondent à la sortie, les courbes 220 correspondent à l'entrée.

[0100] La durée de dégagement est fonction ici de l'amplitude et de la pénétration. Il est possible de projeter les temps mesurés sur la simulation numérique de construction des pièces en version dynamique (c'est-à-dire avec les positions modélisées des différentes pièces, par exemple à l'aide d'un logiciel de CAO (Construction Assistée par Ordinateur)), et alors la lecture de la position relative des points sur la simulation numérique donnent une valeur de pénétration.

[0101] Pour la proposition de réglage, si la position de la mesure se trouve en dehors des bornes ou des intervalles de tolérance, la lecture de la position relative sur la simulation numérique donne la valeur de la retouche à apporter.

[0102] On peut en outre directement utiliser la formule ci-dessus pour calculer ces valeurs.

[0103] Par ailleurs, la mesure se décompose en acquisition et traitement du signal.

[0104] Les données entrées sont la mesure acoustique (ac), et éventuellement la mesure optique (opt) et les données du calibre.

[0105] Les données sorties sont l'amplitude à l'oscillation, la marche à l'oscillation, le repère acoustique à l'oscillation, les temps de l'échappement à l'oscillation et l'angle de levée réel.

[0106] Une couche supplémentaire de traitement du signal est appliquée pour calculer les temps de dégagement moyen sur la mesure sur le son de la palette d'entrée sur la dent et le son de la palette de sortie sur la dent.

[0107] La figure 4 représente une détection sur toutes les dents de la roue.

[0108] Les temps de dégagement sont également associés à un index de dent (répétition du signal tous les 20 dents), ce qui permet de visualiser les différences de durée écoulée 204 entre les deux premiers sons 201, 202 sur un tour de roue 10 ce qui rend compte du malrond de la roue d'échappement 10. On entend par malrond (également appelé malrond ou mal rond) le fait de n'être pas centré sur son axe. La courbe du haut de la figure 4 correspond au son de sortie, la courbe du bas au son d'entrée, dans cet exemple. Il est fait référence à un exemple pour une roue de 20 dents. Il est possible d'utiliser des roues de 15 dents sur les calibres oscillants à 3 Hz, par exemple.

[0109] Notons ainsi que l'angle parcouru pendant la phase de dégagement (angle de dégagement total) est fonction des pénétrations.

[0110] Cet angle variant sur un tour de roue d'échappement, la variation de cet angle est fonction du malrond de la roue d'échappement.

[0111] La mesure des pénétrations peut permettre de détecter un malrond qui crée une variabilité de fonctionnement qui s'ajoute aux autres effets du rouage et est donc néfaste au bon fonctionnement du mouvement horloger.

[0112] Le malrond de la roue d'échappement est détecté sur une pluralité d'oscillations, telle qu'une pluralité de sons émis lors d'un tour complet de roue d'échappement ou une pluralité de sons émis lors d'une rotation de la roue d'échappement sur au moins trois dents d'une pluralité de dents de la roue d'échappement.

[0113] En d'autres termes, la mesure des pénétrations permet de mesurer un malrond (et d'identifier notamment un

malrond excessif).

[0114] La valeur numérique de la pénétration est directement calculée par le biais de la fonction quadratique. La valeur numérique peut également être lue dans une table de correspondance issue de simulation numérique.

[0115] Une correction au calcul est apportée car l'amplitude est corrigée en considérant le défaut de repère qui déséquilibre l'amplitude du son d'entrée et du son de sortie.

[0116] Enfin, un autre moyen de vérification est de considérer l'écart entre entrée et sortie au sein d'une même mesure, qui présente moins de variabilité qu'entre deux mesures différentes.

[0117] Enfin, il est en outre possible de définir une médiane des vingt dents 11, 13 comme référence de comparaison. Il est possible de définir une autre caractéristique pour la comparaison, comme évoqué précédemment (par exemple une moyenne, une régression linéaire, une caractéristique commune, une caractéristique représentative, une fonction des distances de pénétration des palettes les dents, sans être limitée à celles-ci), afin de déterminer s'il est nécessaire de modifier la position des palettes 101, 102 dans l'ancre 100, de changer la roue d'échappement 10, les palettes 101, 102 ou de procéder à toute opération corrective. Comme indiqué précédemment, la roue à 20 dents est un exemple, en particulier pour un mouvement oscillant à 4 Hz.

[0118] La fréquence d'acquisition peut influencer la résolution de la mesure. Par défaut, l'acquisition se fait à 50 kHz, mais il est possible de maximiser la capacité de détection en se plaçant à 100 kHz.

[0119] Il est possible de prévoir plusieurs tours de roue 10 afin de renforcer la pertinence statistique.

[0120] De plus, l'angle de levée est une fonction linéaire des pénétrations, plus les pénétrations sont grandes plus le balancier met de temps à se dégager de l'échappement, plus l'angle de levée est grand. Un couplage optique et acoustique du procédé permet de calculer une grandeur appelée angle de levée réelle qui est une grandeur proche mais différente de l'angle de levée. Un modèle fournissant l'équivalence entre ces grandeurs, peut permettre d'avoir une seconde méthode de calcul des pénétrations ainsi qu'une valeur du couple disponible à la roue d'échappement.

[0121] La figure 5 représente une vue détaillée de la pénétration 99 d'une des palettes 101, 102 (ici palette 101 pour l'exemple) sur la dent en contact 13 parmi les dents 11.

[0122] La figure 6 représente un exemple de dispositif de mesure pour mesurer un son et mettre en oeuvre le procédé de diagnostic.

[0123] Comme indiqué ci-dessus, il est important, lors de la fabrication de montres mécaniques, de vérifier le fonctionnement des différents composants de la montre telle qu'elle est assemblée. Il s'agit, par exemple, de vérifier la bonne synchronisation du mécanisme d'horlogerie (ou mouvement d'horlogerie), la présence de défauts de fabrication, etc.

[0124] En général, les inventeurs ont reconnu que l'émission acoustique en champ proche d'une montre peut être très variable le long de son enveloppe externe et qu'un balayage spatial de l'émission acoustique en champ proche fournit une pluralité d'informations qui permettent de mieux caractériser le comportement acoustique et les sources de bruit et d'émission de la montre.

[0125] Les inventeurs ont également reconnu qu'une mesure basée sur un ou plusieurs microphones et un balayage spatial fournit les meilleures informations disponibles en termes de bande de fréquence, car les microphones ont une bande de mesure intrinsèquement plus large que les capteurs de vibrations, et aussi qu'une pluralité de microphones fournit les meilleures informations disponibles à partir de captures de signaux faibles, car la combinaison d'une pluralité de captures de signaux apporte intrinsèquement une capacité accrue de rapport signal-bruit.

[0126] Comme illustrée en figure 6, un dispositif de mesure 2000 pour mesurer le son généré par la montre W peut être utilisé, comme le dispositif de mesure 2000 ayant : une surface de support 1100, une pluralité de microphones 1200 placés sur ou sous la surface de support 1100, un contrôleur connecté à la pluralité de microphones 1200, dans lequel le contrôleur est configuré pour traiter la sortie de la pluralité de microphones 1200 de manière à obtenir un ou plusieurs signaux représentatifs du son généré par la montre W.

[0127] La pluralité de microphones 1200 peut être placée à proximité immédiate de l'objet à mesurer, comme une montre W, de sorte que le bruit de l'environnement est limité pour atteindre les microphones 1200 et que le son de la montre est mesuré avec une sensibilité et une sélectivité très élevées.

[0128] Dans certains modes de réalisation du dispositif de mesure 2000, la pluralité de microphones 1200 peut être adaptée en phase et en amplitude. La pluralité de microphones 1200 peut être configurée pour avoir un décalage d'amplitude inférieur à 3 dB, de préférence inférieur à 2 dB, de préférence encore inférieur à 1 dB, et/ou la pluralité de microphones 1200 peut être configurée pour avoir un décalage de phase inférieur à 10°, de préférence inférieur à 5°, de préférence encore inférieur à 1°.

[0129] La pluralité de microphones 1200 peut être constituée de microphones à base de MEMS.

[0130] La pluralité des microphones 1200 peut être séparée les uns des autres par une distance intra-microphone, la distance intra-microphone pouvant être inférieure à 1/2 de la plus petite longueur d'onde mesurée par le dispositif de mesure 2000, de préférence inférieure à 1/4 de la plus petite longueur d'onde, de préférence encore inférieure à 1/8 de la plus petite longueur d'onde.

[0131] La pluralité de microphones 1200 peut couvrir une distance totale, la distance totale peut être inférieure à la plus petite longueur d'onde mesurée par l'appareil de mesure 2000, de préférence inférieure à la moitié de la plus petite

longueur d'onde.

[0132] La pluralité de microphones 1200 peut couvrir une distance totale, la distance totale peut être inférieure à 10 cm, de préférence inférieure à 5 cm, de préférence encore inférieure à 3 cm.

[0133] La pluralité de microphones 1200 peut comprendre au moins 4 microphones, de préférence au moins 16 microphones, de préférence encore au moins 32 microphones.

[0134] Différents microphones 1200, ou différents groupes de microphones 1200, peuvent être configurés pour mesurer des sons sur différentes gammes de fréquences. Lors de l'utilisation, un volume V compris entre la montre et une majorité, de préférence tous les microphones, peut être rempli par un liquide et/ou un gel.

[0135] La montre W à mesurer ou à écouter peut être placée à une distance de mesure de la pluralité de microphones 1200 qui peut être inférieure à 1 cm, de préférence inférieure à 0,5 cm, de préférence encore inférieure à 1 mm. La pluralité de microphones 1200 peut être configurée pour mettre en oeuvre une antenne acoustique. Une antenne acoustique peut être considérée comme un dispositif comprenant un réseau de microphones 1200 utilisé pour détecter les ondes sonores provenant d'une direction particulière.

[0136] En outre, même si un microphone peut mesurer dans la bande passante de 500 Hz à 200 kHz, il peut être utilisé pour mesurer des sons dans une bande passante plus étroite seulement, par exemple de 500 Hz à 1 kHz, pour une utilisation optimale.

[0137] Le dispositif de mesure 2000 peut être configuré de manière à ce que la montre W soit maintenue à la distance de mesure sans support supplémentaire. Ceci peut être réalisé en fournissant un cadre approprié pour tenir la montre W. Alternativement, ou en plus, la surface de support 1100 du dispositif de mesure 2000 peut être configurée de manière à maintenir la montre en place. La partie du dispositif de mesure 2000 qui maintient la montre W en place peut avoir une forme complémentaire à au moins une partie de la forme extérieure de la montre, de sorte que la montre peut être maintenue fermement et en toute sécurité, tout en réduisant la quantité de bruit ambiant qui atteint le(s) microphone(s) grâce à la complémentarité de la structure de support et de la forme de la montre, comme il sera illustré en référence à la figure 7.

[0138] Le dispositif de mesure 2000 peut également comprendre un boîtier 2100 configuré pour définir un volume V. Le volume V est donc un volume interne du boîtier 2100. Le boîtier 2100 peut comprendre ou être relié à la surface de support 1100, de sorte que la pluralité de microphones 1200 peut être placée à l'intérieur du volume V.

[0139] Dans cette configuration, afin de permettre aux sons provenant de la montre W, qui est extérieure au volume V, d'atteindre les microphones 1200, la surface de support 1100 peut comprendre au moins une ouverture 1110.

[0140] La figure 7 représente un autre exemple de dispositif de mesure pour mesurer le son et mettre en oeuvre le procédé de diagnostic.

[0141] Comme visible par exemple à la figure 7, la surface de support 4100 du dispositif de mesure 2000 peut être flexible et/ou configurée pour se conformer à une surface de la montre W. La surface de support flexible 4100 peut être maintenue en place par un cadre de support non flexible approprié 4400, qui n'est illustré que de manière schématique à la figure 7.

[0142] La figure 8 représente schématiquement un angle de dégagement total et un angle de levée total.

[0143] Comme discuté en référence à la figure 2, la durée écoulée 204 entre les deux premiers sons 201, 202 de l'échappement est une fonction des distances de pénétrations 99 des palettes 101, 102.

[0144] La durée écoulée 204 est également appelée « DI ». La deuxième durée écoulée 205 est également appelée « DB ».

[0145] Pendant le temps DI, l'oscillateur a parcouru l'angle de dégagement total. Il est en particulier fait référence aux pages 111-112 de l'ouvrage « Théorie d'horlogerie », de la fédération des écoles techniques, rédigé par l'école technique de la vallée de Joux par Charles-André Reymondin, Georges Monnier, Didier Jeanneret et Umberto Pelaratti, et plus généralement pages 106-114.

[0146] Pendant le temps DB, l'oscillateur a parcouru l'angle de levée total (en référence aux mêmes pages du même ouvrage).

[0147] La mesure des temps DI et DB, et connaissant la vitesse de déplacement de l'oscillateur, permet de déterminer la distance parcourue par l'oscillateur.

[0148] L'angle de dégagement total est fonction des pénétrations d'échappement : plus l'angle est grand plus la pénétration est grande. Connaissant la relation entre les deux grandeurs définies expérimentalement, cela permet une détermination des valeurs de pénétrations

La figure 9 représente une pénétration en fonction d'un angle d'impulsion.

[0149] Il est possible de vérifier une corrélation de mesure avec la mesure optique (par exemple Divalog) et la mesure selon la présente invention (en référence à la figure 9).

[0150] En bas à gauche (région ovale) sont représentées les mesures concernant l'entrée d'échappement et en haut à droite (région rectangulaire) sont représentées les mesures concernant la sortie d'échappement.

[0151] On constate une bonne corrélation entre valeur d'angle de dégagement total et les valeurs de pénétrations mesurées optiquement. On établit ainsi un modèle linéaire entre la valeur de l'angle de dégagement total et valeur de

pénétration.

[0152] On rappelle que :

$$5 \quad [\text{Angle d'impulsion}] = [\text{angle de levé}] - [\text{angle de dégagement}]$$

en référence aux mêmes pages de l'ouvrage précité.

[0153] Ainsi, il est possible de déterminer la pénétration en fonction de la mesure d'angle de dégagement.

[0154] Il convient de procéder avec les étapes suivantes.

- 10 1/ acquérir les durées écoulées DIB (204) et DB (205), de préférence pour chaque phase d'échappement ;
 2/ déterminer l'angle de levée du mouvement correspondant à l'amplitude parcourue pendant le temps DB (205 à la figure 2) ;
 3/ calculer l'amplitude de fonctionnement du balancier :

$$15 \quad A = A0 / (2 * \sin (\text{Pi} \times f \times \text{DB}))$$

	A	[°]	Amplitude maximale de l'oscillateur
20	A0	[°]	Angle de levée
	f	[Hz]	Fréquence de l'oscillateur
	DB	[s]	durée entre le choc de dégagement et le choc de butée

- 25 4/ calculer l'angle de dégagement

$$\text{Adég} = A * (2 * \sin (\text{Pi} \times f \times \text{DI}))$$

30	Adég	[°]	Amplitude parcourue par l'oscillateur pendant le temps DI
	A	[°]	Amplitude maximale de l'oscillateur
	f	[Hz]	Fréquence de l'oscillateur
	DI	[s]	durée entre le choc de dégagement et le choc de l'impulsion

- 35 **[0155]** La figure 10 représente la pénétration en um en fonction des dents de la roue (ici 1 à 20).
[0156] Il est en outre possible de prévoir l'étape suivante.
[0157] 5/ calculer la pénétration par l'utilisation d'un modèle numérique prédictif mettant en relation les temps DI et les pénétrations de l'échappement :
 40

$$P = [\text{Modèle}] * [\text{DI}, A]$$

45	P	[um]	pénétrations d'échappement
	[DI, A]		Durées mesurées et amplitude de fonctionnement mesurés
	[Modèle]		Coefficient du modèle (par exemple modèle quadratique avec termes d'interaction).

- 50 **[0158]** L'étape 5 peut être remplacée par l'étape 5 bis ci-après.
[0159] 5 bis/ calculer la pénétration par l'utilisation d'un modèle expérimental préalablement défini et mettant en relation les angles d'impulsion et les pénétrations de l'échappement

$$55 \quad P = a * \text{Adég} + b$$

P	[μ]	pénétration d'échappement
Adég	[°]	Angle de dégagement
a,b	[-]	coefficient du modèle (déterminé par exemple selon la régression linéaire de la figure 9, pour l'entrée et la sortie).

[0160] La figure 11 représente un angle de dégagement en degré en fonction des dents de la roue.

[0161] Il est en outre possible de prévoir l'étape suivante.

[0162] 6/ Déterminer le malrond par détermination de l'évolution des temps de dégagement DI, DB ou des angles de dégagement ou des pénétrations d'échappement sur une rotation de la roue d'échappement.

[0163] Le déphasage (phi) doit correspondre au nombre de dents embrassés par l'échappement et permet de confirmer quel signal correspond à quel côté de l'échappement (l'entrée est en avance de phase sur la sortie).

[0164] La variation (Δ) correspond au malrond

$$M^{\circ} = \Delta$$

M°	[°]	malrond d'échappement relatif
Δ	[°]	variation de l'angle de dégagement sur un tour de roue

[0165] Le malrond peut être aussi calculé en fonction du modèle expérimental déterminé précédemment.

$$M = a * \Delta$$

M	[μ]	malrond d'échappement
Δ	[°]	variation de l'angle de dégagement sur un tour de roue
a	[μ/°]	coefficient du modèle

[0166] Le malrond exprimé en μ étant logiquement identique entre les 2 côtés de l'échappement, on peut également vérifier la cohérence des résultats.

[0167] On comprendra que diverses modifications et/ou améliorations évidentes pour l'homme du métier peuvent être apportées aux différents modes de réalisation de l'invention décrits dans la présente description.

Revendications

1. Procédé de diagnostic d'une distance de pénétration d'au moins une palette sur une dent d'une pluralité de dents d'un échappement horloger,

l'échappement horloger comprenant une roue d'échappement (10) ayant la pluralité de dents (11, 13), et une ancre (100) ayant l'au moins une palette (101, 102),
le procédé comprenant les étapes suivantes :

- fournir la roue d'échappement (10) ayant la pluralité de dents (11, 13), et l'ancre (100) agencée pour coopérer avec la pluralité de dents (11, 13),
- procéder à une détection acoustique d'un fonctionnement de la roue d'échappement (10) avec l'ancre (100), une pluralité de sons étant émis pendant le fonctionnement, lors de contacts d'au moins une dent (11, 13) de la pluralité de dents (11, 13) avec l'au moins une palette (101, 102),
- pour la dent (11, 13) de la pluralité de dents (11, 13), détecter au moins deux signaux sonores d'échappement (201, 202) relatifs à cette dent (11, 13) parmi la pluralité de sons, déterminer une durée écoulée (204) entre les deux signaux sonores d'échappement (201, 202) relatifs à cette dent (11, 13) coopérant avec l'au moins une palette (101, 102), et en déduire la distance de pénétration (99) de l'au moins une palette (101, 102) sur la dent (11, 13).

2. Procédé de diagnostic selon la revendication précédente, comprenant en outre l'étape suivante :

- comparer la distance de pénétration (99) de l'au moins une palette (101, 102) sur la dent (11, 13) avec une distance de pénétration prédéterminée.

3. Procédé de diagnostic selon la revendication précédente, comprenant en outre l'étape suivante :

- proposer un réglage de pénétration, de sorte à rapprocher la distance de pénétration (99) déduite de la distance de pénétration prédéterminée.

4. Procédé de diagnostic selon la revendication précédente, dans lequel le réglage de pénétration est choisi parmi un déplacement de l'au moins une palette (101, 102) dans un logement de palette (101a, 102a) de l'ancre (100), un changement de l'au moins une palette (101, 102), un changement de la roue d'échappement (10) ou un déplacement de l'entraxe entre l'ancre (100) et la roue d'échappement (10).

5. Procédé de diagnostic selon l'une des revendications précédentes, comprenant en outre les étapes suivantes :

- mesurer une amplitude de fonctionnement d'un balancier coopérant avec l'ancre (100),
- déduire la distance de pénétration (99) de l'au moins une palette (101, 102) sur cette dent (11, 13) en fonction de la durée écoulée (204) entre les deux signaux sonores d'échappement (201, 202) relatifs à cette dent (11, 13) et l'amplitude de fonctionnement du balancier.

6. Procédé de diagnostic selon l'une des revendications précédentes, comprenant en outre l'étape suivante :

- pour plusieurs dents (11, 13) de la pluralité de dents (11, 13), détecter au moins deux signaux sonores d'échappement (201, 202) relatifs à chaque dent (11, 13) parmi les plusieurs dents (11, 13), déterminer une durée écoulée (204) entre les deux signaux sonores d'échappement (201, 202) relatifs à chaque dent (11, 13), et en déduire une distance de pénétration de l'au moins une palette (101, 102) sur chaque dent (11, 13).

7. Procédé de diagnostic selon la revendication précédente, comprenant en outre l'étape suivante :

- établir une distance de pénétration spécifique à plusieurs dents (11, 13) de la pluralité de dents (11, 13) basée sur la distance de pénétration de l'au moins une palette (101, 102) sur chaque dent (11, 13).

8. Procédé de diagnostic selon la revendication précédente, dans lequel la distance de pénétration spécifique à plusieurs dents (11, 13) est choisie parmi :

- une médiane des distances de pénétration de l'au moins une palette (101, 102) sur chaque dent (11, 13),
- une moyenne des distances de pénétration de l'au moins une palette (101, 102) sur chaque dent (11, 13),
- une régression linéaire des distances de pénétration de l'au moins une palette (101, 102) sur chaque dent (11, 13),
- une caractéristique commune des distances de pénétration de l'au moins une palette (101, 102) sur chaque dent (11, 13),
- une caractéristique représentative des distances de pénétration de l'au moins une palette (101, 102) sur chaque dent (11, 13), ou
- une fonction des distances de pénétration de l'au moins une palette (101, 102) sur chaque dent (11, 13).

9. Procédé de diagnostic selon l'une des revendications 7 à 8, comprenant en outre les étapes suivantes :

- comparer la distance de pénétration spécifique à plusieurs dents (11, 13) avec la distance de pénétration prédéterminée.
- proposer un réglage de pénétration globale, de sorte à rapprocher la distance de pénétration spécifique à plusieurs dents (11, 13) de la distance de pénétration prédéterminée.

10. Procédé de diagnostic selon l'une des revendications précédentes, comprenant en outre l'étape suivante

- déterminer un angle de levée,
- calculer une amplitude de fonctionnement du balancier,

- calculer un angle de dégagement,
- calculer la distance de pénétration (99).

5 11. Procédé de réglage pour régler un échappement horloger comprenant les étapes suivantes :

- réaliser le procédé de diagnostic selon l'une des revendications précédentes,
- émettre une consigne de réglage à un utilisateur.

10 12. Procédé de réglage selon la revendication précédente, dans lequel la consigne de réglage est affichée sur un dispositif connecté, tel qu'une loupe connectée.

13. Procédé de réglage selon l'une des revendications 11 à 12, dans lequel la consigne de réglage à un utilisateur correspond à un changement de la roue d'échappement.

15 14. Procédé d'apprentissage d'une machine de prédiction, comprenant les étapes suivantes :

- faire fonctionner une roue d'échappement (10) avec une ancre (100) ayant au moins une palette (101, 102),
- enregistrer une pluralité de sons émis pendant le fonctionnement lors de contacts d'au moins une dent (11, 13) d'une pluralité de dents (11, 13) de la roue d'échappement (10),
- entraîner la machine de prédiction à l'aide d'un modèle et d'une série de sons émis par la roue d'échappement et l'ancre en fonctionnement, de sorte à déterminer une distance de pénétration (99) de l'au moins une palette sur la dent (11, 13).

20 25 15. Procédé d'apprentissage d'une machine de prédiction selon la revendication précédente, dans lequel le modèle est prédéterminé par construction de la roue d'échappement et de l'ancre.

16. Procédé de détection d'un malrond d'une roue (10) d'un échappement horloger,

30 l'échappement horloger comprenant la roue d'échappement (10) ayant une pluralité de dents (11, 13), et une ancre (100) ayant au moins une palette (101, 102) coopérant avec la pluralité de dents (11, 13), le procédé comprenant les étapes suivantes :

- fournir la roue d'échappement (10) ayant la pluralité de dents (11, 13), et l'ancre (100) agencée pour coopérer avec la pluralité de dents (11, 13),
- procéder à une détection acoustique d'un fonctionnement de la roue d'échappement (10) avec l'ancre (100), une pluralité de sons étant émis pendant le fonctionnement, lors de contacts d'au moins une dent (11, 13) de la pluralité de dents (11, 13) avec l'au moins une palette (101, 102),
- pour la dent (11, 13) de la pluralité de dents (11, 13), détecter au moins deux signaux sonores d'échappement (201, 202) relatifs à cette dent (11, 13) parmi la pluralité de sons, déterminer une durée écoulée (204) entre les deux signaux sonores d'échappement (201, 202) relatifs à cette dent (11, 13) coopérant avec l'au moins une palette (101, 102), et en déduire un malrond de la roue (10) sur la base d'une évolution de la durée écoulée (204) en fonction de chaque dent (11, 13).

Fig. 1

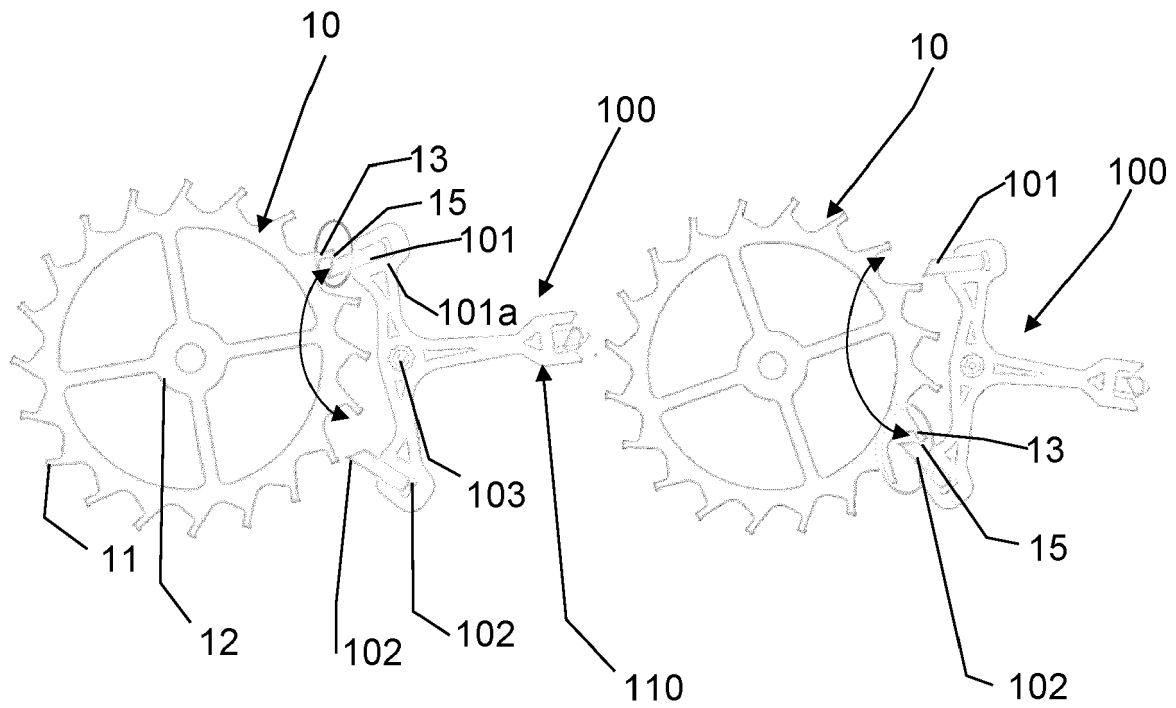


Fig. 2

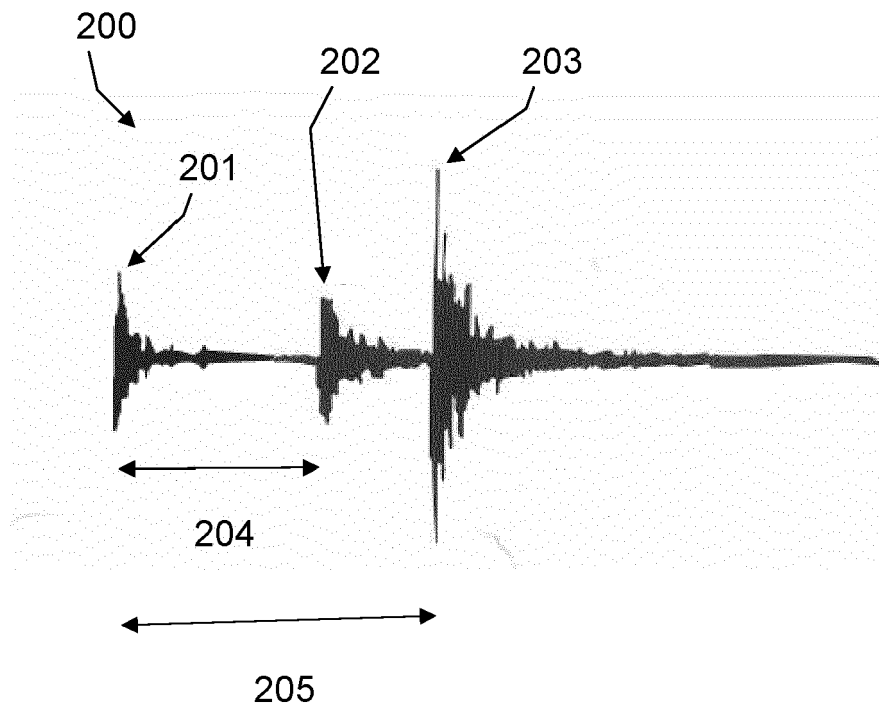


Fig. 3

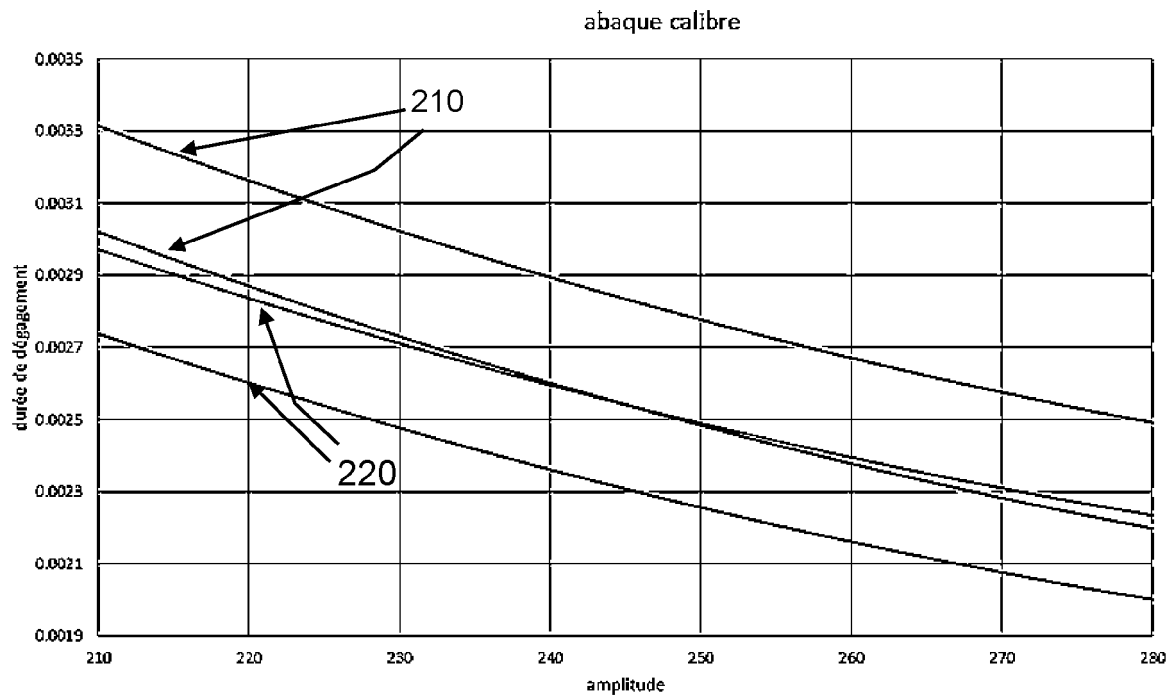


Fig. 4

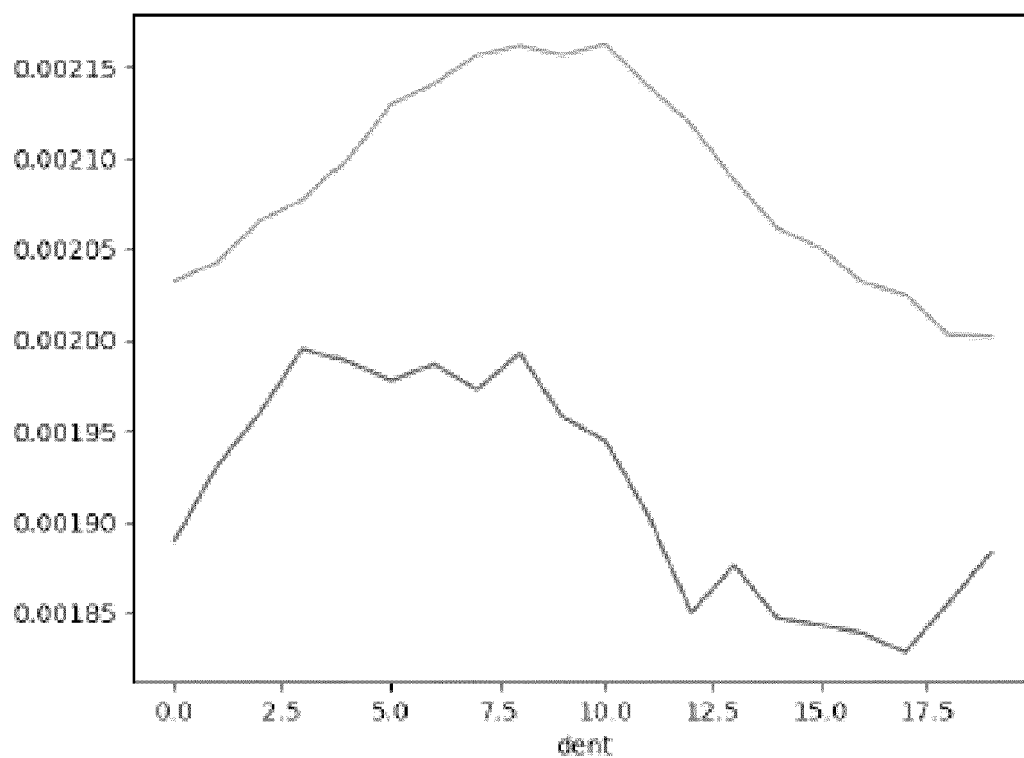


Fig. 5

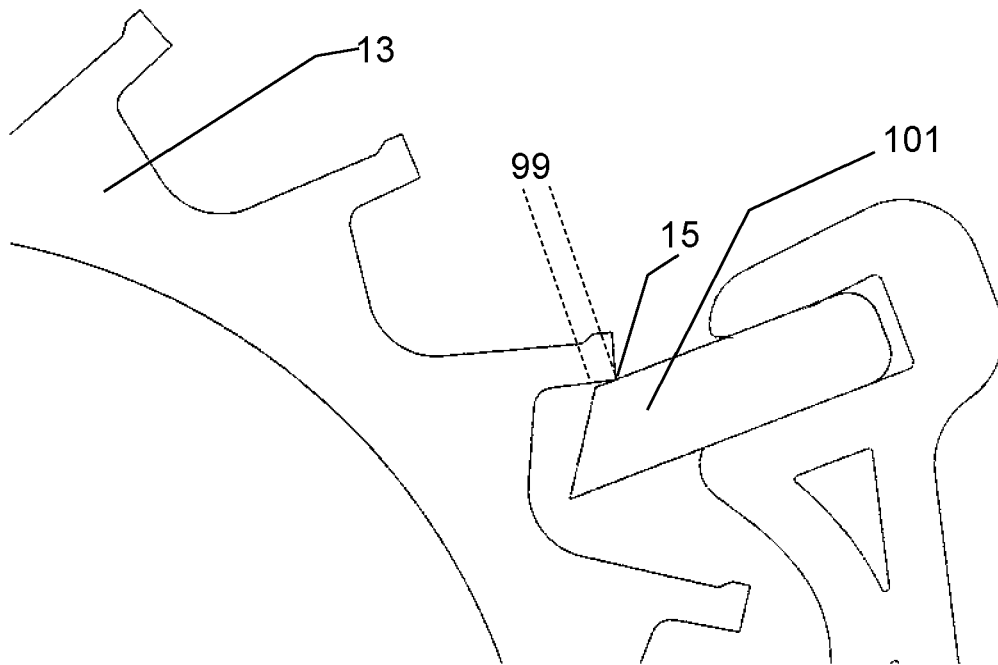


Fig. 6

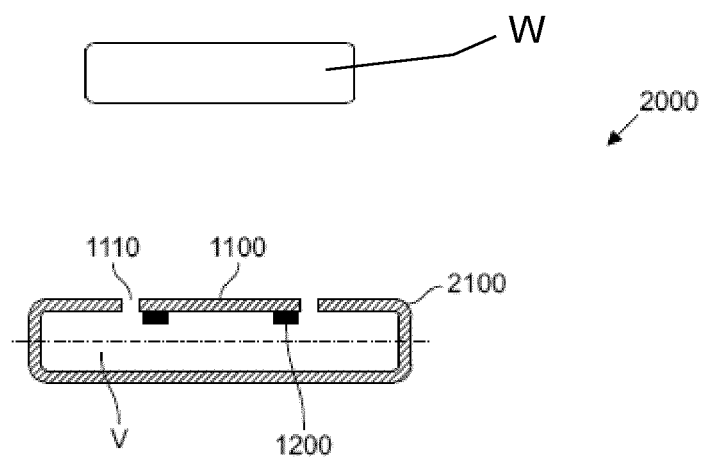


Fig. 7

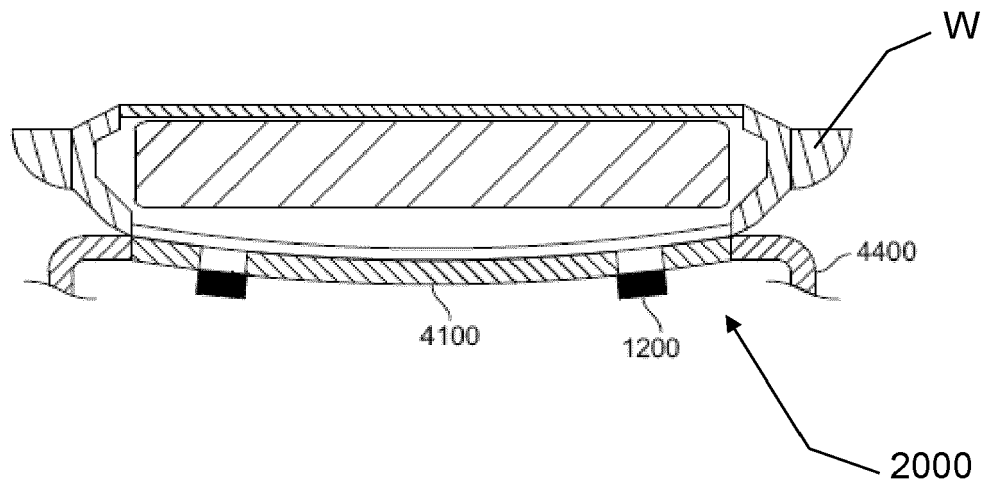


Fig. 8

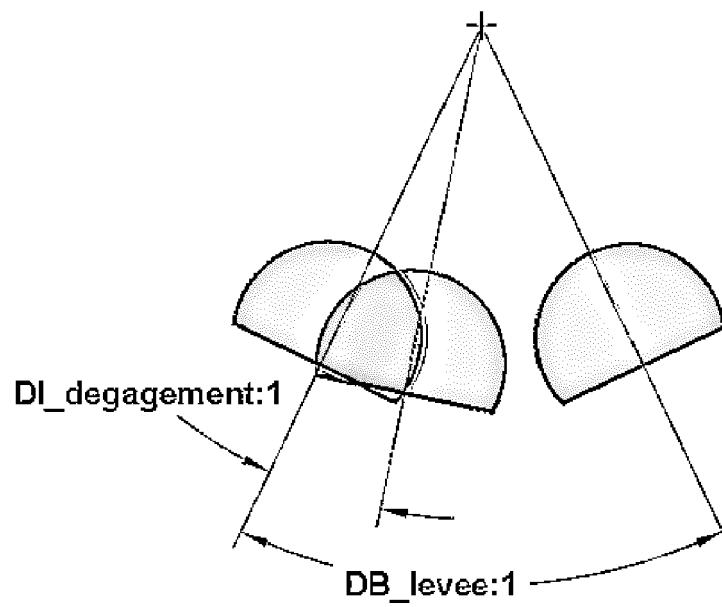


Fig. 9

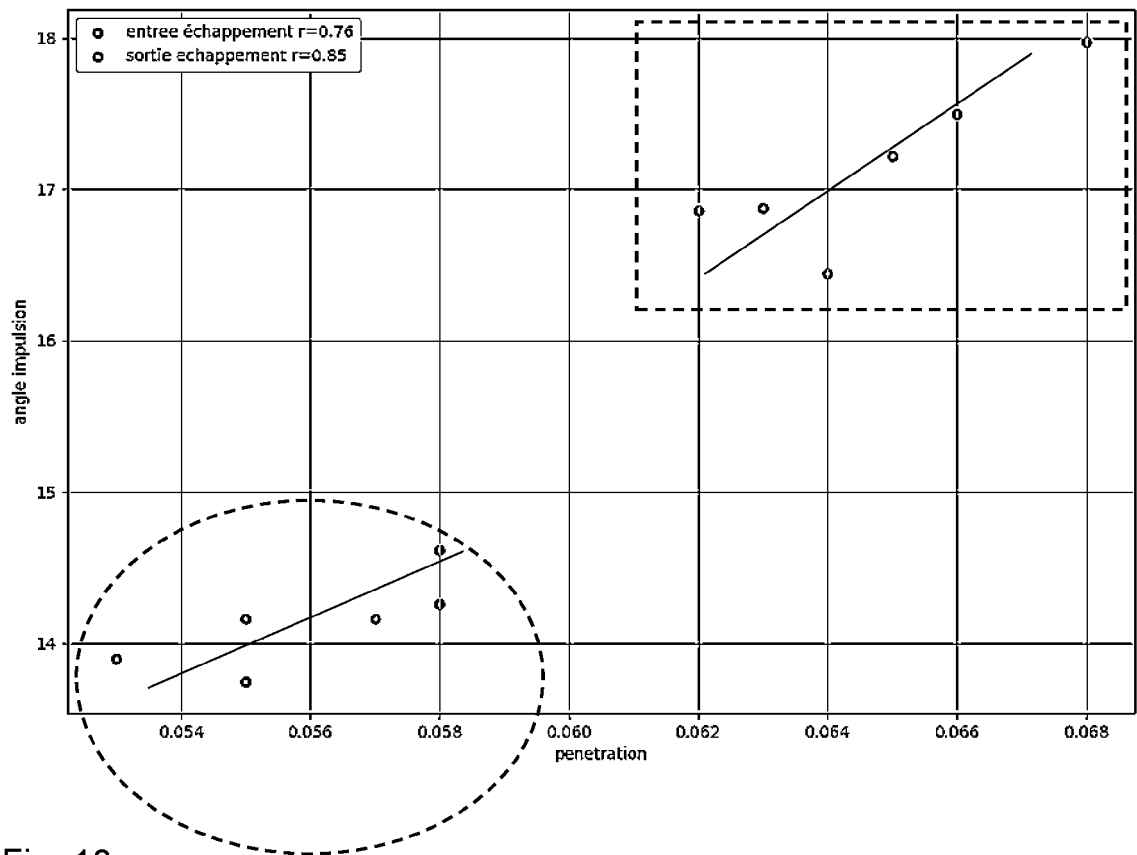


Fig. 10

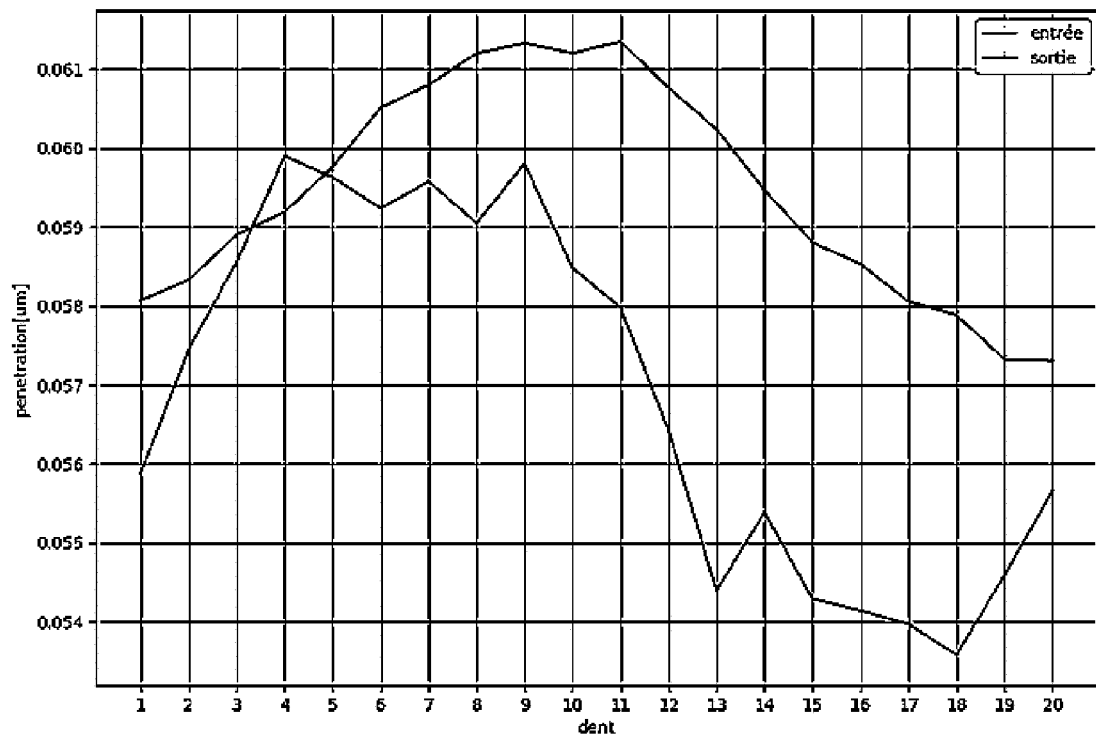
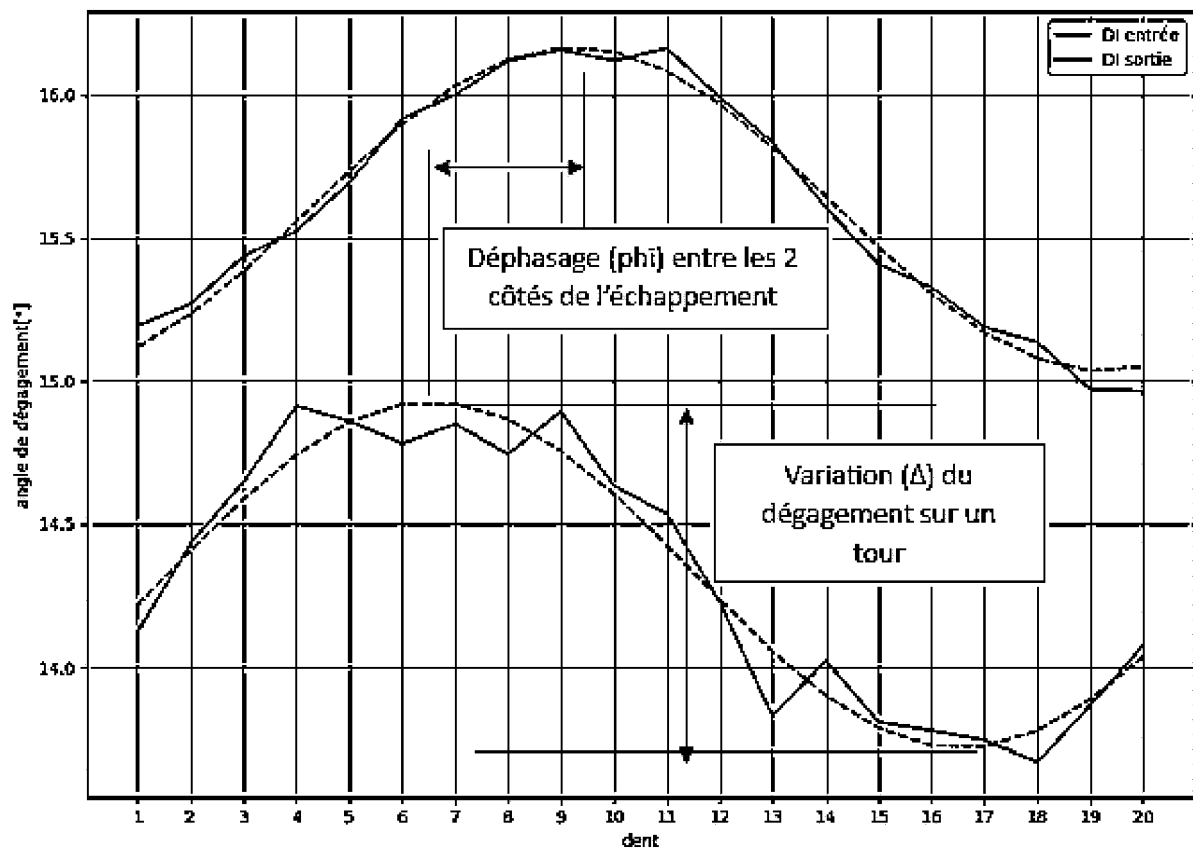


Fig. 11





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 24 17 1653

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

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	CH 716 023 A2 (SEIKO INSTR INC [JP]) 30 septembre 2020 (2020-09-30) * le document en entier * -----	1-16	INV. G04D7/00 G04D7/06 G04D7/12
A	FR 2 767 205 A1 (FEMTO [CH]) 12 février 1999 (1999-02-12) * page 8, ligne 8 - page 15, ligne 25 * * figures 3-5 * -----	1-16	
A	EP 3 812 847 A1 (SWATCH GROUP RES & DEV LTD [CH]) 28 avril 2021 (2021-04-28) * alinéas [0017] - [0019] * * figure 5 * -----	1-16	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			G04D
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 9 septembre 2024	Examineur Pirozzi, Giuseppe
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	

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

EP 24 17 1653

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.

09 - 09 - 2024

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
CH 716023 A2	30-09-2020	CH 716023 A2	30-09-2020
		CN 111752135 A	09-10-2020
FR 2767205 A1	12-02-1999	AUCUN	
EP 3812847 A1	28-04-2021	CN 112764340 A	07-05-2021
		EP 3812847 A1	28-04-2021
		JP 6951533 B2	20-10-2021
		JP 2021067678 A	30-04-2021
		US 2021116869 A1	22-04-2021

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

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

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

Documents brevets cités dans la description

- CH 691992 [0004]
- CH 717263 [0066]

Littérature non-brevet citée dans la description

- CHARLES-ANDRÉ REYMONDIN ; GEORGES MONNIER ; DIDIER JEANNERET ; UMBERTO PELARATTI. *Théorie d'horlogerie*, 111-112, 106-114 [0145]