



(11)

**EP 4 130 890 A1**

(12)

**DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
**08.02.2023 Bulletin 2023/06**

(21) Numéro de dépôt: **21189581.8**

(22) Date de dépôt: **04.08.2021**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):  
**G04C 3/04 (1968.09) G04B 17/06 (1968.09)**  
**G04B 17/20 (1968.09) G04B 17/26 (1968.09)**  
**G04B 17/28 (1968.09)**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):  
**G04B 17/066; G04B 17/20; G04B 17/26;**  
**G04B 17/28; G04C 3/12**

(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**  
Etats de validation désignés:  
**KH MA MD TN**

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

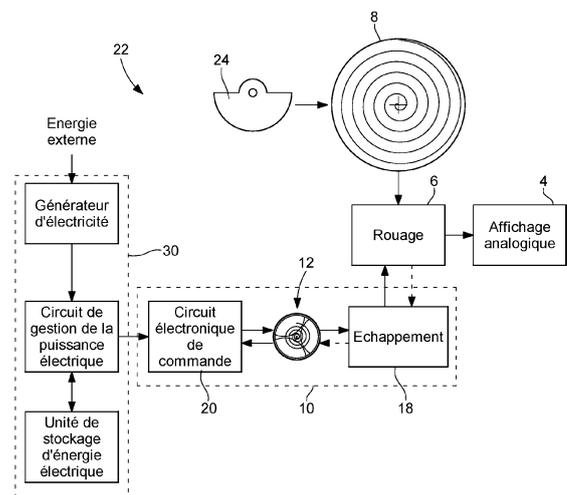
(72) Inventeurs:  
• **IMBODEN, Matthias**  
**2072 St-Blaise (CH)**  
• **DIDIER, Alexandre**  
**3235 Erlach (CH)**  
• **HAEMMERLI, Alexandre**  
**2000 Neuchâtel (CH)**

(74) Mandataire: **ICB SA**  
**Faubourg de l'Hôpital, 3**  
**2001 Neuchâtel (CH)**

(54) **MOUVEMENT HORLOGER MUNI D'UN OSCILLATEUR COMPRENANT UN SPIRAL PIÉZOÉLECTRIQUE**

(57) Le mouvement horloger comprend, d'une part, un affichage analogique de l'heure, un rouage, un barillet et un oscillateur électromécanique (10), lequel est formé d'un résonateur (12), comprenant un balancier et un spiral piézoélectrique, et d'un échappement mécanique (18), et comprend, d'autre part, un circuit électronique de commande (20) relié à une source d'énergie électrique (30) et agencé pour pouvoir commander l'application d'une tension électrique à au moins une électrode du spiral piézoélectrique de manière à générer des impulsions électriques motrices pour l'oscillateur. Le mouvement horloger est configuré de sorte que le barillet est capable, dans un premier état principal, d'entretenir seul une oscillation fonctionnelle de l'oscillateur avec une première amplitude, alors que dans un deuxième état principal le circuit électronique de commande alimente le spiral piézoélectrique pour entretenir, en partie ou totalement, l'oscillation du résonateur avec une deuxième amplitude supérieure à la première amplitude pour toute orientation spatiale, la deuxième amplitude étant de préférence constante.

Fig. 6



**EP 4 130 890 A1**

## Description

### Domaine technique de l'invention

**[0001]** La présente invention concerne un mouvement horloger comprenant un barillet et un affichage analogique de l'heure, qui est entraîné par le barillet via un rouage, ainsi qu'un balancier-spiral pour commander la marche du mouvement horloger. Le spiral est du type piézoélectrique avec des électrodes agencées sur les deux surfaces latérales. L'invention concerne également une montre incorporant un tel mouvement horloger et une source d'énergie électrique.

### Arrière-plan technologique

**[0002]** On connaît du brevet US 9,721,169 un mouvement horloger comprenant un oscillateur du type balancier-spiral avec un spiral piézoélectrique muni d'électrodes reliées à une capacité variable pour pouvoir varier la rigidité du spiral et ainsi ajuster sa fréquence propre pour augmenter la précision de l'affichage de l'heure.

**[0003]** Les demandes de brevet EP 3 540 528 et EP 3 629 103 décrivent respectivement un procédé de régulation de la fréquence moyenne d'un balancier-spiral et un procédé de synchronisation de la fréquence d'un balancier-spiral en utilisant un spiral piézoélectrique relié à une unité électronique de commande munie d'un oscillateur à quartz.

### Résumé de l'invention

**[0004]** La présente invention a pour objectif de modifier un mouvement horloger du type mécanique par l'incorporation d'un système électronique permettant d'augmenter sa précision de marche, sans pour autant renoncer à un balancier-spiral pour cadencer la marche du mouvement horloger, notamment l'entraînement de son dispositif d'affichage analogique. De plus, la présente invention se propose de modifier le mouvement horloger de manière qu'il demeure fonctionnel même lorsque le système électronique est inactif, notamment par manque d'énergie électrique à disposition.

**[0005]** L'invention a pour objet un mouvement horloger comprenant un affichage analogique de l'heure, un rouage, un barillet en relation cinématique avec l'affichage analogique via le rouage, et un oscillateur formé d'un résonateur, comprenant un balancier et un spiral piézoélectrique, et d'un échappement mécanique couplant le balancier au rouage, le spiral piézoélectrique étant formé au moins partiellement d'un matériau piézoélectrique et comprenant au moins deux électrodes dont au moins une électrode est reliée à un circuit électronique de commande, le matériau piézoélectrique et ladite au moins une électrode étant agencés de manière à permettre l'application, gérée par le circuit électronique de commande, d'une contrainte électrique sur le spiral piézoélectrique. Ensuite, le mouvement horloger est configuré de sorte

que le barillet est capable d'entraîner l'affichage analogique et d'entretenir seul une oscillation fonctionnelle de l'oscillateur avec une première amplitude qui est notamment fonction de l'orientation spatiale du mouvement horloger. De plus, le circuit électronique de commande est agencé pour pouvoir être relié à une source d'énergie électrique et pouvoir commander l'application d'une tension électrique à ladite au moins une électrode de manière à générer des impulsions électriques motrices pour l'oscillateur qui lui fournissent une énergie suffisante pour permettre une oscillation fonctionnelle de cet oscillateur, pour chaque orientation spatiale du mouvement horloger, avec une deuxième amplitude qui est supérieure à une valeur nominale maximale de la première amplitude pour cette orientation spatiale.

**[0006]** Selon un mode de réalisation préféré, le circuit électronique de commande est agencé pour commander ladite application d'une tension électrique de manière à maintenir la deuxième amplitude sensiblement constante pour toute orientation spatiale du mouvement horloger et tout niveau d'armage du barillet. A cet effet, dans une variante particulière, le circuit électronique de commande comprend un circuit de détection de l'amplitude d'une tension induite dans le spiral piézoélectrique et une boucle de rétroaction pour maintenir cette amplitude à une valeur de consigne donnée, permettant ainsi de réguler l'amplitude de l'oscillation du résonateur.

**[0007]** Dans une variante avantageuse, ladite valeur nominale maximale est inférieure ou égale à 300° pour toute orientation spatiale du mouvement horloger et ladite deuxième amplitude est supérieure à 300° pour toute orientation spatiale du mouvement horloger et tout niveau d'armage du barillet.

**[0008]** L'invention concerne aussi une montre dans laquelle est incorporée une source d'énergie qui est formée par un générateur d'électricité agencé pour pouvoir collecter une énergie externe et la transformer en énergie électrique, de manière à permettre une alimentation du circuit électronique de commande et du spiral piézoélectrique.

**[0009]** Grâce aux caractéristiques de l'invention, la précision de la montre incorporant le mouvement selon l'invention peut être augmentée, en particulier grâce à une grande amplitude pour l'oscillation du balancier qui peut être maintenue par les impulsions électriques motrices fournies à l'oscillateur électromécanique via le spiral piézoélectrique. Ensuite, le mode de réalisation préféré permet premièrement de compenser une diminution du couple de force fourni par le barillet, de sorte à maintenir sensiblement constant la puissance d'entretien de l'oscillation pour chaque orientation spatiale du mouvement horloger, respectivement de la montre qui l'incorpore. Ainsi, la variation de fréquence de l'oscillateur intervenant généralement dans un mouvement mécanique classique à cause de la variation du couple de force fourni par le barillet au cours du temps est éliminée dans ce mode de réalisation préféré. De plus, ce mode de réalisation préféré permet d'éliminer une différence d'ampli-

tude pour différentes positions spatiales du mouvement horloger, respectivement de la montre qui l'incorpore. Finalement, le mode de réalisation préféré permet d'éviter des variations de la marche du mouvement horloger pouvant survenir pour d'autres raisons dans des mouvements mécaniques classiques, à savoir le vieillissement des huiles, des points durs dans le rouage ou une demande de couple momentanément accrue, comme lors du passage d'un quantième au suivant, etc. Ainsi, la présente invention permet de résoudre de manière efficace les divers problèmes pouvant intervenir dans des mouvements horlogers mécaniques et conduisant à une perte de l'isochronisme, laquelle a pour conséquence une dérive temporelle dans l'affichage de l'heure courante.

#### Breve description des figures

**[0010]** L'invention sera décrite ci-après de manière plus détaillée à l'aide des dessins annexés, donnés à titre d'exemples nullement limitatifs, dans lesquels :

- la Figure 1 est une vue en perspective d'un mode de réalisation d'un mouvement horloger selon l'invention (sans la masse oscillante prévue pour remonter le barillet) ;
- la Figure 2 est une vue de dessous du mouvement horloger de la Figure 1, duquel le pont de balancier et la raquetterie ont été enlevés ;
- la Figure 3 est une vue agrandie et schématique du résonateur formant l'oscillateur électromécanique incorporé dans le mode de réalisation du mouvement horloger de la Figure 1 ;
- la Figure 4 est coupe transversale du spiral piézoélectrique formant le résonateur de la Figure 3 ;
- la Figure 5 montre schématiquement une montre selon l'invention incorporant un mouvement horloger selon l'invention, cette montre étant représentée ici dans un premier état de fonctionnement principal ;
- la Figure 6 représente la montre de la Figure 6 alors qu'elle est dans un deuxième état de fonctionnement principal ; et
- la Figure 7 est une représentation schématique du circuit électronique de commande de l'oscillateur électromécanique incorporé dans le mode de réalisation préféré de l'invention.

#### Description détaillée de l'invention

**[0011]** En référence aux Figures on décrira divers modes de réalisation d'un mouvement horloger selon l'invention, ainsi que l'agencement général d'une montre selon l'invention.

**[0012]** Le mouvement horloger 2 comprend un affichage analogique 4 de l'heure, un rouage 6, un barillet 8 entraînant l'affichage analogique via le rouage, et un oscillateur électromécanique 10 formé d'un résonateur 12, comprenant un balancier 14 et un spiral piézoélectrique 16, et d'un échappement mécanique 18 couplant le balancier au rouage. Le mouvement horloger est muni d'une masse oscillante 24 (non représentée aux Figures 1 et 2, mais aux Figures 5 et 6) servant à remonter le barillet. Le balancier est pivoté dans un pont de balancier 26, ce pont portant une raquetterie 28 servant au réglage de la fréquence d'oscillation du résonateur 12, comme ceci est usuel dans les mouvements mécaniques horlogers.

**[0013]** De manière générale, le spiral piézoélectrique est formé au moins partiellement d'un matériau piézoélectrique et comprend au moins deux électrodes dont au moins une est reliée à un circuit électronique de commande 20. A la Figure 3 sont représentés le résonateur 12 et le circuit électronique de commande 20 auquel deux électrodes externes 68 et 69 du spiral piézoélectrique 16 sont reliés par deux liaisons électriques 21A et 21 B. Une coupe transversale du spiral piézoélectrique 16 est représentée à la Figure 4 de manière nullement limitative. Ce spiral comprend un corps central 60 en silicium, une couche d'oxyde de silicium 62 déposée en surface du corps central de manière à compenser thermiquement le spiral, une première couche conductrice 64 déposée sur la couche d'oxyde de silicium, et un matériau piézoélectrique déposé sous forme d'une couche piézoélectrique 66 sur la première couche conductrice 64. Dans une variante particulière, la couche piézoélectrique est constituée d'un cristal de nitrure d'aluminium formé par une croissance de ce cristal depuis la première couche conductrice et perpendiculairement à celle-ci. Deux électrodes externes 68 et 69, formées par une deuxième couche conductrice partielle sur la couche piézoélectrique, sont agencées respectivement des deux côtés latéraux du spiral et sont reliées à deux bornes respectives 70 et 71 du circuit électronique de commande 20. Ainsi, la couche piézoélectrique 66 comprend une première partie 74A et une deuxième partie 74B qui s'étendent respectivement sur les deux côtés latéraux du corps central 60 et qui présentent, de par leur croissance depuis la première couche conductrice 64, des structures cristallographiques respectives qui sont symétriques relativement à un plan médian 76 parallèle à ces deux côtés latéraux. Ainsi, dans les deux parties latérales 74A et 74B, la couche piézoélectrique 66 présente deux axes piézoélectriques respectifs 78A et 78B perpendiculaires à cette couche piézoélectrique et de sens opposés.

**[0014]** Pour une même contrainte mécanique globale exercée sur le spiral piézoélectrique 16 (spiral en contraction ou en extension relativement à sa position de repos), une inversion du signe de la tension induite intervient entre l'électrode interne 64, formée par la première couche conductrice, et chacune des deux électrodes latérales externes 68 et 69 étant donné que, lorsque

le spiral se contracte ou s'étend depuis sa position de repos, il y a une inversion de la contrainte mécanique dans les première et deuxième parties latérales 74A et 74B, c'est-à-dire que l'une de ces deux parties subit une compression alors que l'autre de ces parties subit une élévation / traction, et inversement.

**[0015]** Il résulte des considérations précédentes que des tensions induites locales dans les première et deuxième parties 74A, 74B de la couche piézoélectrique présentent, selon un axe géométrique perpendiculaire aux deux côtés latéraux, une même polarité, de sorte qu'une seule électrode interne commune 64 est suffisante, cette électrode interne commune s'étendant des deux côtés latéraux du corps central 60. On peut donc récupérer une tension induite entre les deux électrodes externes 68 et 69, laquelle correspond à l'addition des deux tensions induites locales (en valeurs absolues) qui sont générées respectivement dans les première et deuxième parties 74A et 74B de la couche piézoélectrique 66. Il résulte également de ces considérations qu'on peut appliquer une certaine tension entre les deux électrodes 68 et 69 pour contraindre activement le spiral lors d'une excitation du résonateur 12 et notamment lui fournir des impulsions motrices. On remarquera que l'électrode interne, formée de la première couche conductrice 64, n'a pas besoin d'une liaison électrique propre avec le circuit électronique de commande 20 ou à la masse du mouvement horloger, bien que ceci ne soit pas exclu.

**[0016]** Dans le cadre de l'invention, le matériau piézoélectrique 66 et les deux électrodes 68 et 69 sont agencés de manière à permettre l'application, commandée par le circuit électronique de commande 20, d'une contrainte électrique sur le spiral piézoélectrique de manière à fournir au résonateur 12 des impulsions motrices qui participent au moins en partie à l'entretien d'une oscillation fonctionnelle de ce résonateur, de préférence avec une amplitude sensiblement constante. A cet effet, le circuit électronique de commande 20 est agencé pour pouvoir être relié à une source d'énergie électrique 30 et pouvoir commander l'application d'une tension électrique entre les électrodes externes 68 et 69, de manière à générer des impulsions motrices pour le résonateur 12. De manière générale, selon l'invention, le circuit électronique de commande est agencé pour pouvoir gérer l'application d'une tension électrique à au moins une des deux électrodes externes 68 et 69, de manière à générer des impulsions motrices pour l'oscillateur électromécanique 10 via le spiral piézoélectrique contraint par la tension électrique appliquée, de sorte à fournir une énergie électrique à cet oscillateur qui soit suffisante pour que le résonateur 12 puisse avoir une oscillation fonctionnelle avec une amplitude supérieure à une valeur nominale maximale pour l'amplitude d'une oscillation fonctionnelle de ce résonateur, pour chaque orientation spatiale du mouvement horloger, en l'absence d'impulsions motrices d'origine électrique.

**[0017]** En particulier, il est prévu de fournir des impulsions électriques motrices à l'oscillateur électromécani-

que 10, c'est-à-dire des impulsions d'énergie, qui permettent soit d'entretenir une oscillation fonctionnelle du résonateur 12, soit de participer à l'entretien d'une telle oscillation fonctionnelle. La fréquence de ces impulsions motrices dépend notamment de leur durée et de leur tension électrique. En particulier, de telles impulsions motrices peuvent être dimensionnées de manière qu'elles interviennent une fois lors de chaque alternance ou une fois par période de l'oscillation du résonateur.

**[0018]** Les Figures 5 et 6 représentent schématiquement une montre 22 selon l'invention comprenant un mouvement horloger selon l'invention. Les parties du mouvement horloger déjà décrites ne seront pas nouveau décrites ici en détails. La montre 22 comprend une source d'énergie électrique 30 qui est formée par un générateur d'électricité agencé pour produire de l'électricité de sorte à permettre une alimentation du circuit électronique de commande 20 et du spiral piézoélectrique. Dans la variante représentée, le générateur d'électricité est relié à une unité de stockage, notamment une batterie rechargeable ou une super-capacité, via un circuit de gestion de la puissance électrique fournie au circuit électronique de commande 20 et à l'oscillateur électromécanique 10. En particulier, on notera que la tension nécessaire pour alimenter le spiral piézoélectrique est située dans une plage de tension entre 10 V et 40 V. Une telle tension est largement supérieure aux tensions de batterie incorporées généralement dans des montres et aussi bien supérieure aux tensions fournies par des cellules solaires du type horloger. Ainsi, le circuit de gestion de la puissance électrique est agencé pour pouvoir augmenter la tension accumulée dans l'unité de stockage ou fournie directement par le générateur d'électricité. A cet effet, il comprend un élévateur de tension, par exemple une pompe de charges.

**[0019]** Divers types de générateurs électriques peuvent être prévus, en particulier au moins une cellule solaire agencée au niveau du cadran de la montre ou de la lunette de cette montre. Dans une autre réalisation, il est prévu une thermopile qui reçoit comme énergie extérieure à la montre une énergie thermique provenant du bras de l'utilisateur. La thermopile est ainsi agencée de manière à pouvoir convertir de la chaleur du corps d'un utilisateur en électricité. Cette dernière variante est particulièrement intéressante car elle permet d'activer une alimentation en énergie électrique de l'oscillateur électromécanique, pour augmenter son amplitude d'oscillation selon l'invention et permettre une amélioration de sa précision comme ceci sera exposé plus en détails par la suite, lorsque la montre est portée et donc sujette à subir des variations de son orientation spatiale. Lorsque la montre n'est pas portée et que l'alimentation électrique n'est pas active, cette montre peut être laissée dans une position stable de sorte que l'amplitude d'oscillation et ainsi la fréquence de l'oscillateur électromécanique ne sont plus perturbés par des variations d'orientation de la montre. Par contre, l'alimentation électrique est active et le circuit électrique de commande est opérationnel lors-

que la montre est portée, à savoir lorsque l'amplitude et ainsi la fréquence d'un mouvement mécanique classique varient en fonction de l'orientation spatiale de la montre. Dans cette situation, la présente invention permet généralement d'améliorer la marche de la montre et, dans un mode de réalisation préféré qui sera décrit plus en détails par la suite, de maintenir constante l'amplitude d'oscillation de l'oscillateur électromécanique pour toute orientation spatiale et tout niveau d'armage du barillet qui est suffisant à l'entraînement du dispositif d'affichage analogique. Finalement, on notera que dans un autre mode de réalisation, la montre selon l'invention ne comprend pas de générateur électrique qui la rend autonome, mais elle comprend alors une batterie sous forme de pile.

**[0020]** A la Figure 5 est représenté un premier état principal prévu lors du fonctionnement de la montre 22, en particulier du mouvement horloger 2 qu'elle incorpore. Dans ce premier état principal de fonctionnement, la source d'énergie électrique 30 n'a pas suffisamment d'énergie électrique du générateur d'électricité pour alimenter correctement le spiral piézoélectrique, de sorte que le circuit électronique de commande 20 ne génère pas d'impulsions électriques motrices. Dans ce premier état, le mouvement horloger 2 se comporte donc comme un mouvement mécanique classique. L'échappement 18 est un échappement usuel qui est non seulement compteur mais aussi agencé pour permettre au barillet, via un rouage, de fournir des impulsions mécaniques d'entretien au résonateur 12 pour obtenir une oscillation fonctionnelle de ce dernier. Le mouvement horloger est donc configuré de sorte que le barillet est capable d'entraîner l'affichage analogique 4 de la montre 22 et d'entretenir seul une oscillation fonctionnelle de l'oscillateur avec une première amplitude qui est notamment fonction de l'orientation spatiale du mouvement horloger.

**[0021]** Dans le premier état principal de fonctionnement, la fréquence d'oscillation du résonateur va donc varier en fonction de l'orientation spatiale du mouvement horloger et en général aussi du niveau d'armage du barillet. Il est connu que lorsque le couple de force fourni par le barillet diminue, l'amplitude de l'oscillation du résonateur diminue également et ceci de manière importante dans le dernier tiers de la réserve de marche. Une diminution d'amplitude engendre généralement une diminution de la fréquence d'oscillation et la précision de la marche en est donc affectée. De plus, l'amplitude varie en fonction de l'orientation du mouvement horloger (plus particulièrement du résonateur), de sorte que ce premier état n'est donc pas idéal mais utile dans le cadre de la présente invention qui a notamment pour objectif de maintenir fonctionnel le mouvement horloger en l'absence d'alimentation électrique suffisante. Ce premier état est en particulier prévu pour une situation où la montre concernée n'est pas portée et laissée avantageusement dans une position donnée favorable. On limite ainsi la variation de fréquence du résonateur puisqu'aucune va-

riation d'amplitude due à des changements d'orientation de ce résonateur n'intervient.

**[0022]** A la Figure 6 est représenté un deuxième état principal prévu lors du fonctionnement de la montre 22, en particulier du mouvement horloger 2. Dans ce deuxième état principal de fonctionnement, la source d'énergie électrique 30 de la montre comprend suffisamment d'énergie électrique stockée ou elle reçoit suffisamment d'énergie électrique du générateur d'électricité pour alimenter correctement le spiral piézoélectrique, de sorte que le circuit électronique de commande 20 génère alors des impulsions électriques motrices. Ainsi, le circuit électronique de commande gère l'application d'une tension électrique à au moins une électrode des deux électrodes 68, 69 du spiral piézoélectrique en appliquant une tension électrique à au moins une des bornes correspondantes 70, 71 (voir Figures 4 et 7), de manière à générer des impulsions motrices pour l'oscillateur 10 qui lui fournissent une énergie suffisante pour permettre une oscillation fonctionnelle de l'oscillateur, pour chaque orientation spatiale du mouvement horloger, avec une deuxième amplitude qui est supérieure à une valeur nominale maximale de la première amplitude, mentionnée précédemment et intervenant dans le premier état principal, pour cette orientation spatiale.

**[0023]** Dans une première variante de réalisation, la valeur nominale maximale de la première amplitude est inférieure ou égale à  $300^\circ$  pour toute orientation spatiale du mouvement horloger, en particulier de son résonateur 12, et la deuxième amplitude est supérieure à  $300^\circ$  pour toute orientation spatiale du mouvement horloger et tout niveau d'armage du barillet.

**[0024]** Dans une deuxième variante de réalisation, la valeur nominale maximale de la première amplitude est comprise entre  $240^\circ$  et  $300^\circ$  pour toute orientation spatiale du mouvement horloger, en particulier de son résonateur 12, et la deuxième amplitude est prévue entre  $305^\circ$  et  $330^\circ$  pour toute orientation spatiale du mouvement horloger et tout niveau d'armage du barillet.

**[0025]** En augmentant l'amplitude d'oscillation de résonateur 10 par des moyens électriques, notamment lors du porter de la montre par un utilisateur comme indiqué précédemment, on augmente son énergie globale et ainsi sa capacité de résister à des accélérations dus notamment à des mouvements brusques, ceci sans augmenter la consommation d'énergie mécanique. La précision de l'affichage de l'heure en est améliorée. En particulier, si le deuxième état principal de fonctionnement est garanti lors du porter de la montre concernée, l'invention permet de prévoir un rapport d'engrenage entre le barillet et la roue d'échappement qui peut être supérieur à celui des mouvements mécaniques classiques, et donc d'augmenter la réserve de marche, tout en assurant une oscillation fonctionnelle de l'oscillateur 10 au moins lors de conditions stables, notamment en l'absence d'accélération comme lorsque la montre n'est pas portée, de préférence pour toute orientation spatiale de cette montre et donc du mouvement horloger mais pour le moins pour

une orientation donnée.

**[0026]** En fonction de la configuration de l'échappement mécanique, du niveau d'armage du barillet et de la puissance électrique fournie à l'oscillateur électromécanique 10, deux variantes de fonctionnement peuvent intervenir dans le deuxième état principal de la montre 22 décrit ci-avant. Dans la première variante, notamment à cause de l'inertie du rouage (y compris la roue d'échappement), l'entretien du résonateur 12 et aussi le mouvement alternatif de l'ancre de l'échappement mécanique sont substantiellement ou totalement assurés par l'alimentation électrique du spiral piézoélectrique, notamment par des impulsions électriques motrices. Dans ce cas, la vitesse d'entraînement de l'ancre par le balancier du résonateur 12 est trop élevée pour que la roue d'échappement puisse, lors de chaque pas de cette roue d'échappement après le dégagement de l'ancre, fournir un couple de force significatif à cette ancre. Dans la seconde variante, l'entretien du résonateur et le mouvement alternatif de l'ancre sont assurés conjointement par le barillet 8 et la source d'énergie électrique 30. On peut envisager qu'une montre selon l'invention ne présente que l'une ou l'autre de ces deux variantes dans son fonctionnement lorsque le deuxième état principal est activé. Cependant, dans une autre montre selon l'invention, la première variante et la seconde variante de fonctionnement interviennent à des moments différents, notamment en fonction du niveau d'armage du barillet et éventuellement de l'orientation spatiale de cette autre montre, en particulier de son résonateur.

**[0027]** En référence à la Figure 7, on décrira ci-après un mode de réalisation préféré de l'invention, dans lequel le circuit électronique de commande 20 est agencé pour pouvoir commander l'application d'une tension électrique au spiral piézoélectrique de manière à maintenir, dans le deuxième état principal du fonctionnement du mouvement horloger, l'amplitude de l'oscillation du résonateur 12 / oscillateur 14 sensiblement constante notamment pour toute orientation spatiale du mouvement horloger et tout niveau d'armage du barillet.

**[0028]** Dans ce mode de réalisation préféré, le circuit électronique de commande 20 comprend un détecteur de tension de crête 46, lequel est agencé pour pouvoir détecter sensiblement l'amplitude de la tension induite dans le spiral piézoélectrique 16 lorsque le résonateur 12 oscille, et un circuit de régulation 20A qui reçoit du détecteur de tension de crête un signal  $S_A$  relatif à l'amplitude de la tension induite et qui est agencé pour gérer une tension d'alimentation  $V_A$ , fournie au spiral piézoélectrique au travers d'une boucle à verrouillage de phase 20B, en fonction d'une valeur de consigne  $Sc$  pour le signal  $S_A$  fourni par le détecteur de tension de crête, de sorte à obtenir une oscillation du résonateur avec une amplitude sensiblement constante. La valeur de consigne  $Sc$  correspond à une amplitude de consigne prévue pour l'oscillation du résonateur 12. Le circuit de régulation 20A comprend des parties de traitement P, I, D agencées en parallèle et bien connues de la personne du mé-

tier, lesquelles traitent une différence entre la valeur de consigne  $Sc$  et la valeur du signal d'amplitude  $S_A$  par une réponse proportionnelle, respectivement en fonction d'une intégration et d'une dérivation de cette différence au cours du temps. Le circuit de régulation reçoit également une tension de référence  $V_R$  qui est ajustée en fonction de la régulation effectuée par le circuit 20A. Finalement, pour isoler le spiral piézoélectrique du détecteur de tension de crête et du circuit de régulation et éviter de perturber son alimentation électrique, un élément tampon 44 (transistor à haute impédance d'entrée) est prévu en amont du détecteur de tension de crête.

**[0029]** Dans une variante principale, la boucle à verrouillage de phase 20B asservit la phase du signal d'alimentation périodique sur la phase du signal de tension induite, fournie notamment à la borne 71, pour que la tension d'alimentation contraigne le spiral piézoélectrique dans le sens de son mouvement, lequel est soit en contraction, soit en extension selon l'alternance en cours. Par exemple, le circuit 20B détecte les passages par zéro de la tension induite, notamment à la borne 71. Ainsi, pour que les impulsions soient motrices, la polarité de la tension d'alimentation est sélectionnée de manière à contraindre le spiral piézoélectrique dans le sens de son mouvement, lequel est alternativement en extension et en contraction au cours des alternances de l'oscillation du résonateur.

**[0030]** Dans un mode de réalisation particulier, un oscillateur à quartz est associé au circuit électronique de commande 20. Cet oscillateur à quartz peut être utilisé pour divers besoins. En particulier, la gestion de la tension d'alimentation  $V_A$  peut comprendre une modulation des impulsions motrices avec un rapport de cycle variable en fonction du signal d'amplitude  $S_A$  et de la valeur de consigne  $Sc$ , notamment de leur différence. Dans une variante avantageuse de ce mode de réalisation particulier, les impulsions électriques motrices sont déclenchées avec une fréquence de consigne  $F_c$  pour l'oscillateur 10 / le résonateur 12 qui est déterminée de manière très précise par l'oscillateur à quartz. Si la fréquence  $F_s$  du signal d'alimentation n'est pas trop éloignée de la fréquence de résonance du résonateur, à savoir de sa fréquence naturelle  $F_N$ , une telle alimentation du spiral piézoélectrique peut imposer la fréquence de consigne au résonateur 12 entretenu, en partie ou totalement, par les impulsions électriques motrices, de sorte que l'oscillateur électromécanique 10 va pouvoir osciller à la fréquence de consigne, avec la précision du quartz, et une amplitude supérieure à celle correspondante dans le premier état principal de fonctionnement, et notamment supérieure à une valeur limite donnée, quelle que soit l'orientation spatiale du mouvement horloger. L'oscillateur à quartz, plus généralement l'oscillateur électronique est dans ce système un oscillateur maître et l'oscillateur électromécanique est un oscillateur esclave. L'oscillateur électromécanique est asservi à l'oscillateur électronique de manière indirecte, au travers de la génération des impulsions électriques motrices fournies à l'oscilla-

teur électromécanique dont le déclenchement est commandé / déterminé par l'oscillateur électronique. De manière générale, pour pouvoir imposer la fréquence de consigne à l'oscillateur électromécanique via les impulsions électriques motrices, ces dernières sont fournies à la fréquence de consigne  $F_c$ , à une harmonique de cette fréquence de consigne, par exemple au double de la fréquence de consigne ( $F_S = 2 \cdot F_c$ ), ou à une fréquence moindre  $F_S = 2 \cdot F_c / N$  avec  $N$  égal à un nombre entier supérieur à deux ( $N > 2$ ). Ce nombre  $N$  doit être prévu suffisamment petit, en fonction notamment de la plage de valeurs possibles pour la fréquence naturelle  $F_N$  de l'oscillateur électromécanique et aussi de la quantité d'énergie électrique à fournir à cet oscillateur électromécanique pour avoir une amplitude d'oscillation augmentée et avantageusement maintenue au-dessus d'une valeur limite prédéterminée.

**[0031]** La variante avantageuse décrite ci-dessus peut être aisément implémentée pour obtenir un gain en précision pour la marche du mouvement horloger dans le deuxième état principal de fonctionnement, et donc de la montre qui l'incorpore, quasi sans augmentation de la consommation électrique liée à l'entretien, partiel ou total, d'une oscillation à relativement grande amplitude. On notera que, dans cette variante avantageuse, le circuit d'alimentation n'a pas besoin de comprendre une boucle à verrouillage de phase pour la commande des impulsions motrices ; ce qui simplifie son design. Toutefois, dans le cas où l'entretien de l'oscillateur électromécanique est assuré conjointement par le barillet (via l'échappement mécanique) et par le circuit électronique de commande via les impulsions électriques appliquées au spiral piézoélectrique, une détection périodique de la phase de l'oscillateur électromécanique, en particulier de passages par zéro de la tension induite dans le spiral piézoélectrique par un circuit de détection de tels passages par zéro, peut s'avérer utile pour pouvoir gérer de manière efficace au moins une période de fonctionnement initiale, en diminuant notamment sa durée, avant une période de synchronisation où la fréquence et la phase des impulsions électriques périodiques s'imposent à l'oscillateur électromécanique, de sorte que des impulsions motrices interviennent sensiblement aux passages du résonateur par sa position de repos. De manière générale, dans la variante avantageuse, le circuit électronique de commande est donc associé à un oscillateur à quartz et agencé de manière à engendrer les impulsions électriques motrices avec une fréquence d'alimentation spécifique qui est déterminée par l'oscillateur à quartz et qui est fonction d'une fréquence de consigne pour l'oscillateur électromécanique, lequel est configuré de sorte que sa fréquence d'oscillation naturelle reste dans une plage de valeurs, pour toute orientation spatiale du mouvement horloger et tout niveau d'armage du barillet, suffisamment proche de la fréquence de consigne pour permettre aux impulsions électriques motrices d'imposer, au moins après une période de fonctionnement initiale et en l'absence de perturbations trop importantes, la fréquence de

consigne  $F_c$  à l'oscillateur électromécanique 10, en ayant une oscillation fonctionnelle de cet oscillateur électromécanique à la deuxième amplitude mentionnée précédemment, de préférence constante.

5 **[0032]** En combinant la variante avantageuse susmentionnée avec le mode de réalisation préféré du circuit électronique de commande 20 décrit précédemment, on a une sorte de double régulation de la fréquence d'oscillation de l'oscillateur électromécanique dans le deuxième état principal de fonctionnement, à savoir une première régulation en amplitude qui tend à maintenir constante l'amplitude d'oscillation, quelle que soit l'orientation spatiale du mouvement horloger, diminuant ainsi la variation de la fréquence naturelle du résonateur en lien avec l'orientation spatiale du mouvement horloger, de sorte que cette fréquence naturelle reste proche de la fréquence de consigne  $F_c$  pour toute orientation spatiale possible dès qu'un réglage initial est opéré correctement, et une seconde régulation obtenue par la génération d'impulsions électriques motrices à une fréquence d'alimentation  $F_s$  définie précédemment, de préférence  $F_S = 2 \cdot F_c / N$  avec  $N$  égal à un nombre entier non nul, ou plus généralement avec des intervalles de temps entre les impulsions électriques motrices dont la valeur  $D_T$  est égale à un nombre entier  $N$  multiplié par la moitié de la période de consigne  $T_c$  ( $T_c = 1 / F_c$ ), soit une relation mathématique  $D_T = N \cdot T_c / 2$  avec  $N$  supérieur à zéro. Le nombre  $N$ , qui peut être variable, est sélectionné dans une plage de valeurs permettant d'imposer la fréquence de consigne  $F_c$  à l'oscillateur électromécanique, cette plage de valeurs étant fonction de la plage de fréquences naturelles possibles pour cet oscillateur, laquelle est maintenue suffisamment proche de la fréquence de consigne grâce à la première régulation susmentionnée.

35 **[0033]** Ainsi, comme la première régulation en amplitude permet de minimiser un écart maximal entre la fréquence naturelle  $F_N$  de l'oscillateur électromécanique et la fréquence de consigne  $F_c$ , quelle que soit l'orientation du mouvement horloger, la seconde régulation par un signal d'alimentation périodique déterminé par l'oscillateur à quartz, en particulier par des impulsions électriques motrices à la fréquence de consigne  $F_c$ , est garantie avec une amplitude fonctionnelle relativement grande, pour autant que le nombre  $N$  ne soit pas trop élevé. On a ainsi une précision de la marche du mouvement horloger qui est égale à celle de l'oscillateur à quartz pour toute orientation spatiale du mouvement horloger et tout niveau d'armage du barillet dans le deuxième état principal de fonctionnement.

40 **[0034]** La variante avantageuse du mode de réalisation particulier peut, dans une autre implémentation, ne pas être combinée au mode de réalisation préféré du circuit électronique de commande, de sorte que la régulation en amplitude n'est pas prévue et la fréquence de l'oscillateur électromécanique est imposée, au moins après une phase de fonctionnement initiale, par la génération d'impulsions électriques motrices à une fréquence d'alimentation  $F_s$  définie précédemment. Dans ce cas,

pour que la fréquence des impulsions électriques motrices permette d'imposer la fréquence de consigne  $F_c$  à l'oscillateur électromécanique, ces impulsions électriques motrices sont de préférence dimensionnées pour que leur fréquence corresponde à un nombre  $N$  petit, par exemple  $N=1$  ou  $N=2$ . A noter qu'un nombre  $N$  pair est préférable car la tension d'alimentation peut alors conserver une même polarité. Dans une variante simplifiée, le circuit d'alimentation ne comprend pas de circuit de détection de passage par zéro de la tension induite.

## Revendications

1. Mouvement horloger (2) comprenant un affichage analogique (4) de l'heure, un rouage (6), un barillet (8) en relation cinématique avec l'affichage analogique via le rouage, et un oscillateur (10) formé d'un résonateur (12), comprenant un balancier (14) et un spiral piézoélectrique (16), et d'un échappement mécanique (18) couplant le balancier au rouage, le spiral piézoélectrique étant formé au moins partiellement d'un matériau piézoélectrique (66) et comprenant au moins deux électrodes (68, 69) dont au moins une électrode est reliée à un circuit électronique de commande (20), le matériau piézoélectrique et ladite au moins une électrode étant agencés de manière à permettre l'application, gérée par le circuit électronique de commande, d'une contrainte électrique sur le spiral piézoélectrique, le mouvement horloger étant configuré de sorte que le barillet est capable d'entraîner l'affichage analogique et d'entretenir seul une oscillation fonctionnelle de l'oscillateur avec une première amplitude qui est notamment fonction de l'orientation spatiale du mouvement horloger ; **caractérisé en ce que** le circuit électronique de commande (20) est agencé pour pouvoir être relié à une source d'énergie électrique (30) et pouvoir commander l'application d'une tension électrique à ladite au moins une électrode de manière à générer des impulsions électriques motrices pour l'oscillateur qui lui fournissent une énergie suffisante pour permettre une oscillation fonctionnelle de cet oscillateur, pour chaque orientation spatiale du mouvement horloger, avec une deuxième amplitude qui est supérieure à une valeur nominale maximale de la première amplitude pour cette orientation spatiale.
2. Mouvement horloger selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le circuit électronique de commande (20) est agencé pour commander ladite application d'une tension électrique de manière à maintenir la deuxième amplitude sensiblement constante pour toute orientation spatiale du mouvement horloger et tout niveau d'armage du barillet.
3. Mouvement horloger selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** le circuit électronique de com-

mande (20) comprend un détecteur de tension de crête (46), lequel est agencé pour pouvoir détecter sensiblement l'amplitude d'une tension induite dans le spiral piézoélectrique (16) lorsque le résonateur (12) oscille, et un circuit de régulation (20A) qui reçoit du détecteur de tension de crête un signal ( $S_A$ ) relatif à l'amplitude de la tension induite et qui est agencé pour pouvoir gérer une tension d'alimentation ( $V_A$ ) en fonction d'une valeur de consigne ( $S_c$ ) pour ledit signal fourni par le détecteur de tension de crête, de sorte à obtenir une oscillation du résonateur avec une amplitude sensiblement constante.

4. Mouvement horloger selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le circuit électronique de commande est associé à un oscillateur à quartz que comprend ce mouvement horloger, le circuit électronique de commande étant agencé de manière à engendrer lesdites impulsions électriques motrices avec une fréquence d'alimentation spécifique qui est déterminée par l'oscillateur à quartz et fonction d'une fréquence de consigne pour l'oscillateur électromécanique (10), lequel est configuré de sorte que sa fréquence d'oscillation naturelle reste dans une plage de valeurs, pour toute orientation spatiale du mouvement horloger et tout niveau d'armage du barillet, suffisamment proche de la fréquence de consigne pour permettre aux impulsions électriques motrices d'imposer la fréquence de consigne à l'oscillateur électromécanique tout en ayant une oscillation fonctionnelle à ladite deuxième amplitude.
5. Mouvement horloger selon la revendication 2 ou 3, **caractérisé en ce que** le circuit électronique de commande est associé à un oscillateur à quartz que comprend ce mouvement horloger, le circuit électronique de commande étant agencé de manière à engendrer lesdites impulsions électriques motrices avec une fréquence d'alimentation spécifique qui est déterminée par l'oscillateur à quartz et fonction d'une fréquence de consigne pour l'oscillateur électromécanique (10), lequel est configuré de sorte que sa fréquence d'oscillation naturelle reste dans une plage de valeurs, pour toute orientation spatiale du mouvement horloger et tout niveau d'armage du barillet, suffisamment proche de la fréquence de consigne pour permettre aux impulsions électriques motrices d'imposer la fréquence de consigne à l'oscillateur électromécanique tout en ayant une oscillation fonctionnelle à ladite deuxième amplitude sensiblement constante.
6. Mouvement horloger selon une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** ladite valeur nominale maximale est inférieure ou égale à  $300^\circ$  pour toute orientation spatiale du mouvement horloger, et ladite deuxième amplitude est supérieure à  $300^\circ$  pour toute orientation spatiale du mouvement

horloger et tout niveau d'armage du barillet.

7. Mouvement horloger selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** ladite valeur nominale maximale est comprise entre 240° et 300° pour toute orientation spatiale du mouvement horloger, et ladite deuxième amplitude est prévue entre 305° et 330° pour toute orientation spatiale du mouvement horloger et tout niveau d'armage du barillet. 5  
10
8. Montre (22) comprenant un mouvement horloger (2) selon une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la source d'énergie est incorporée dans cette montre et comprend un générateur d'électricité agencé pour pouvoir collecter une énergie externe et la transformer en énergie électrique, de manière à permettre une alimentation du circuit électronique de commande (20) et du spiral piézoélectrique (16). 15  
20
9. Montre selon la revendication 8, **caractérisée en ce que** le générateur d'électricité comprend un capteur de lumière.
10. Montre selon la revendication 8, **caractérisée en ce que** le générateur d'électricité comprend une thermopile agencée de manière à pouvoir convertir de la chaleur du corps d'un utilisateur en électricité. 25  
30  
35  
40  
45  
50  
55

Fig. 1

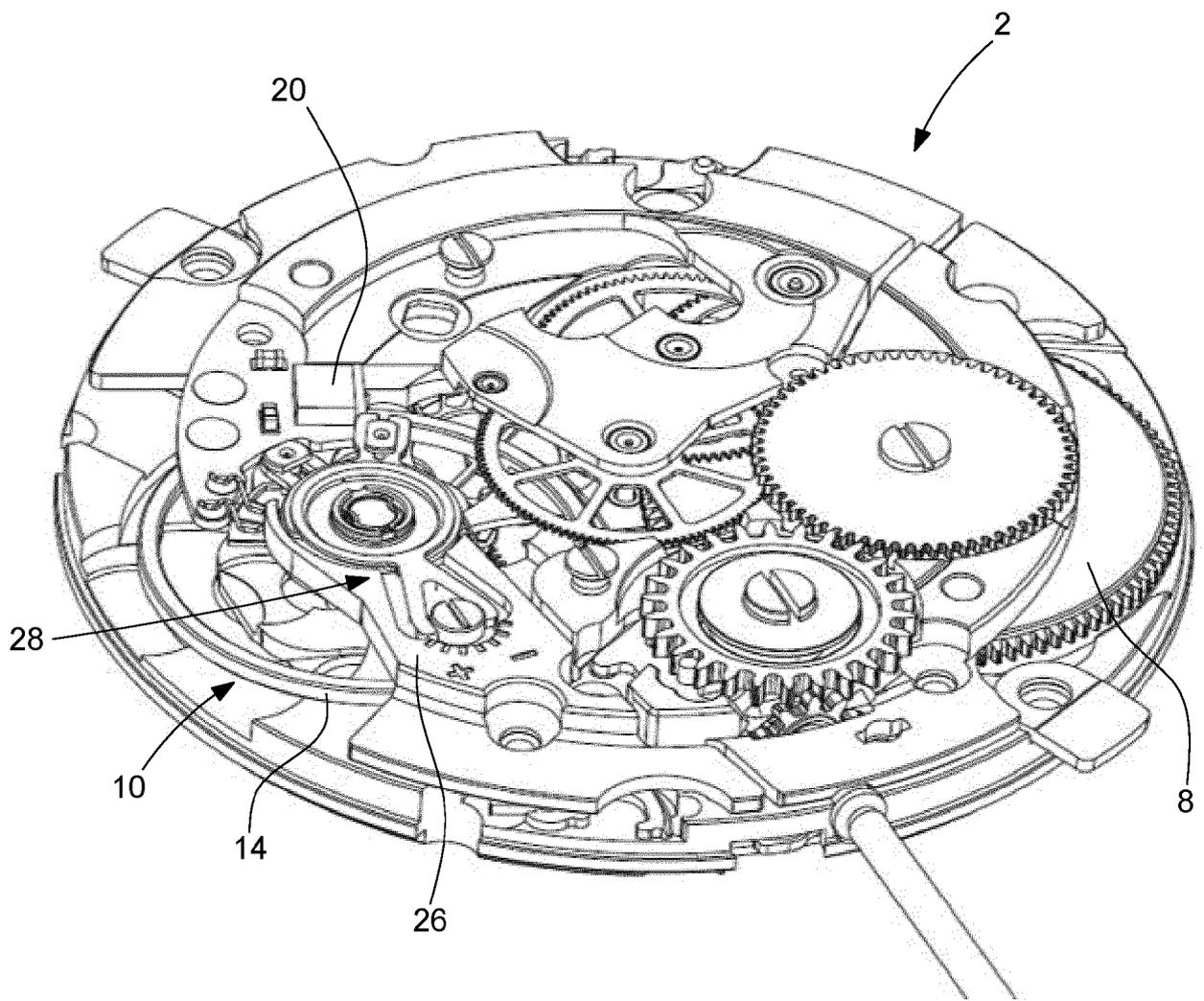


Fig. 2

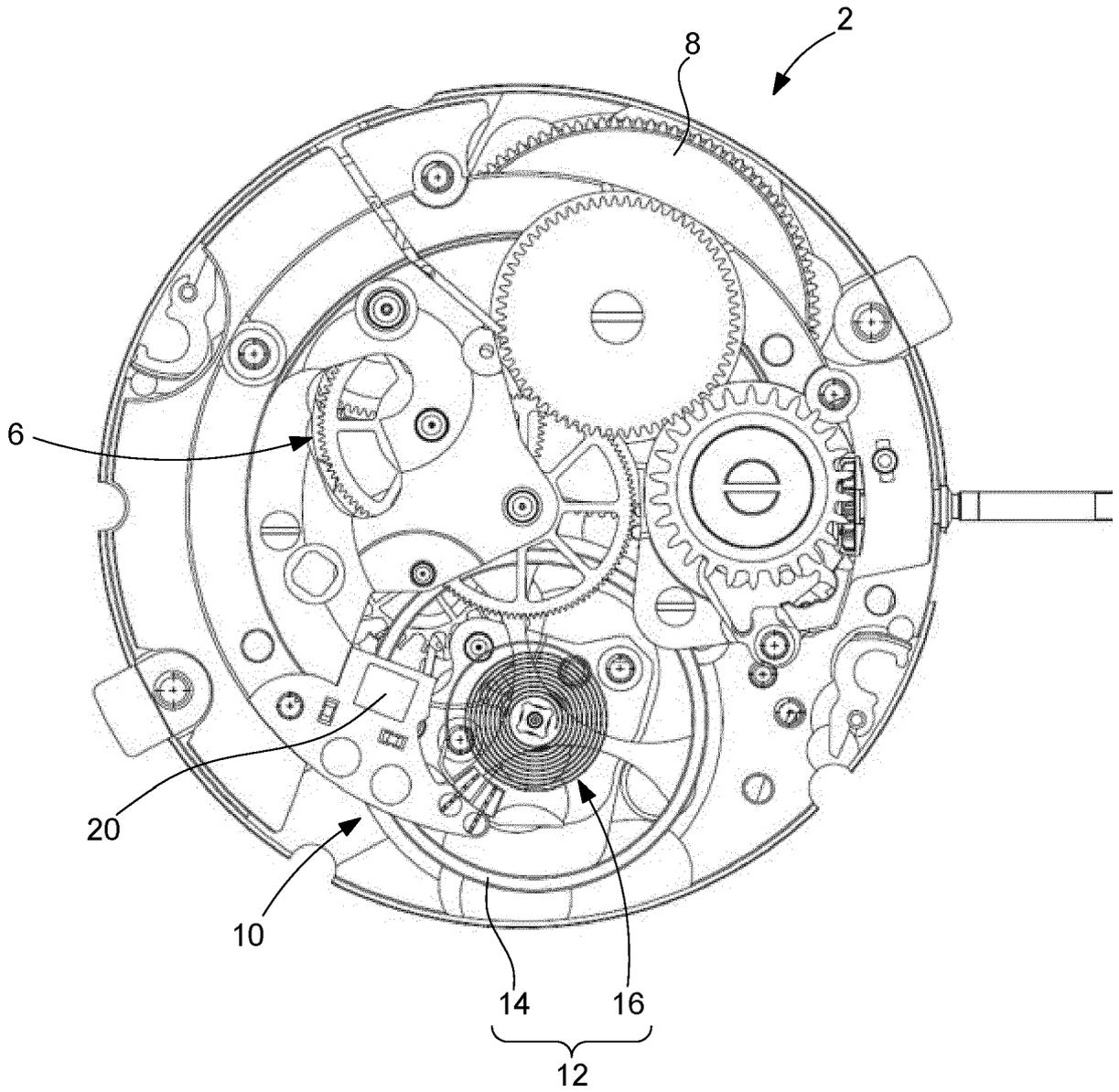


Fig. 3

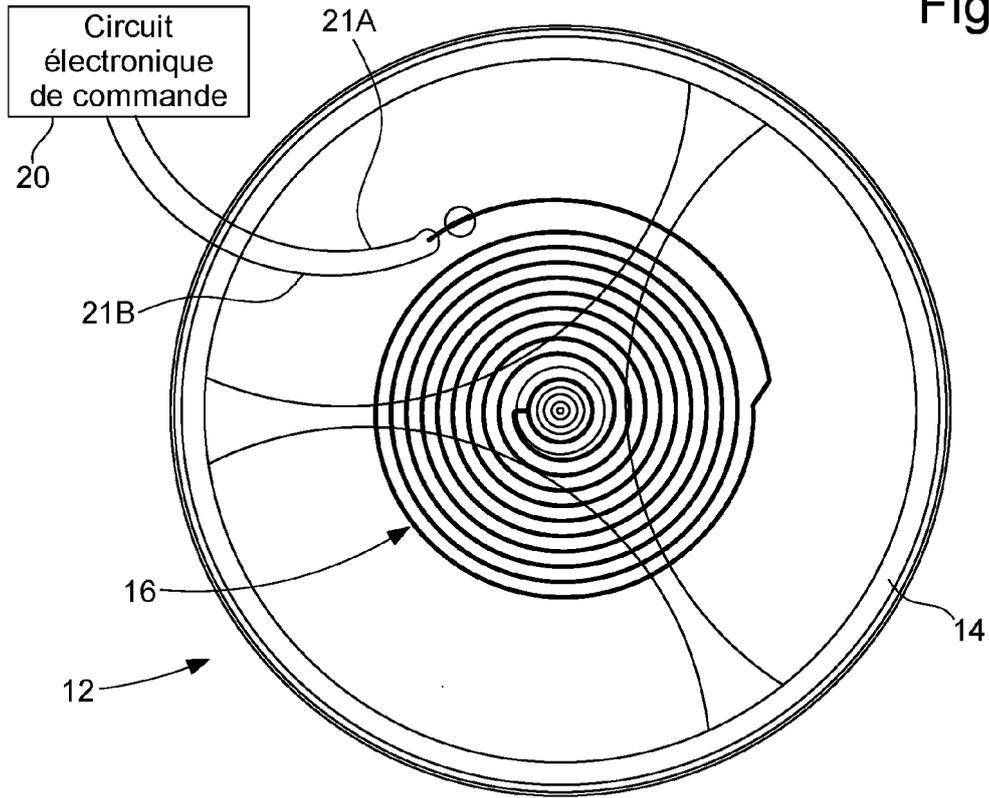


Fig. 4

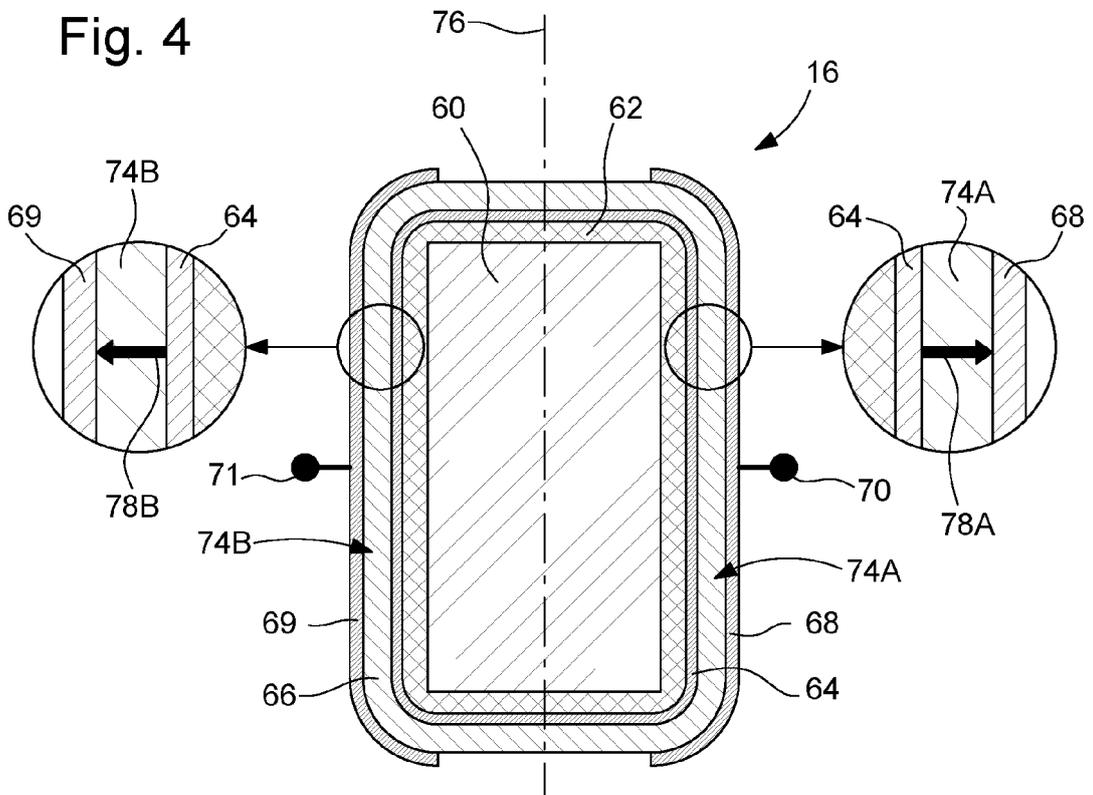


Fig. 5

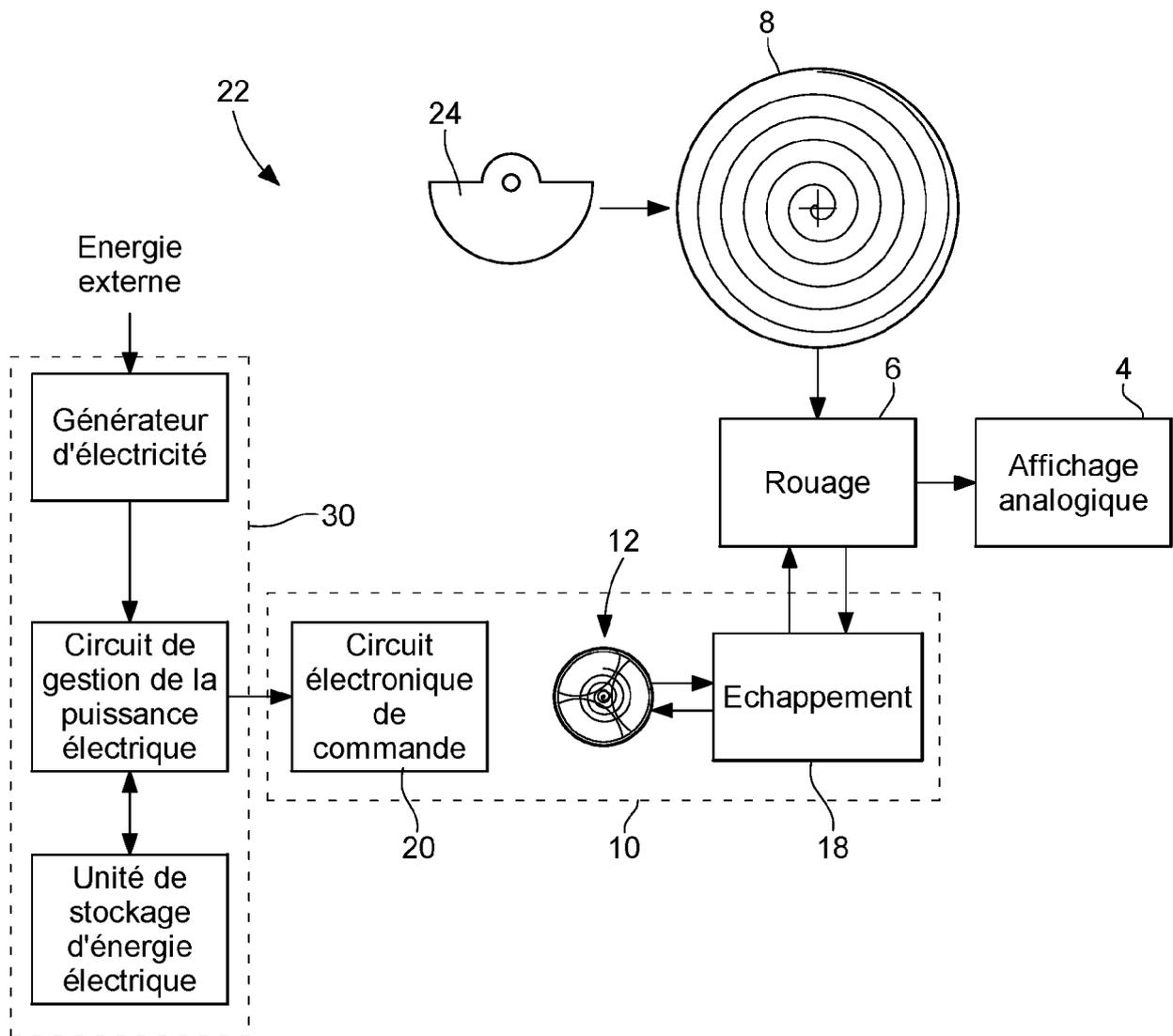


Fig. 6

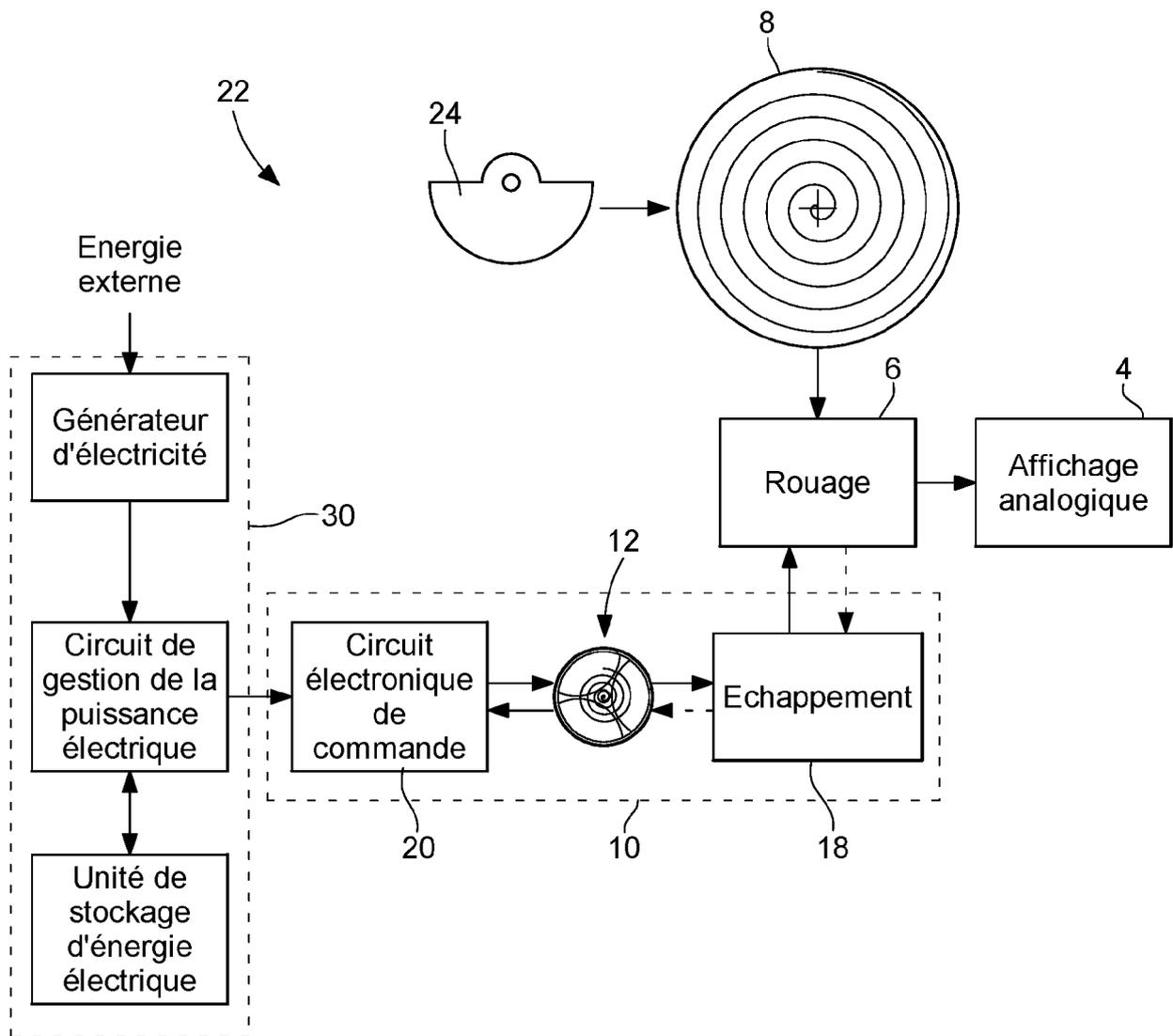
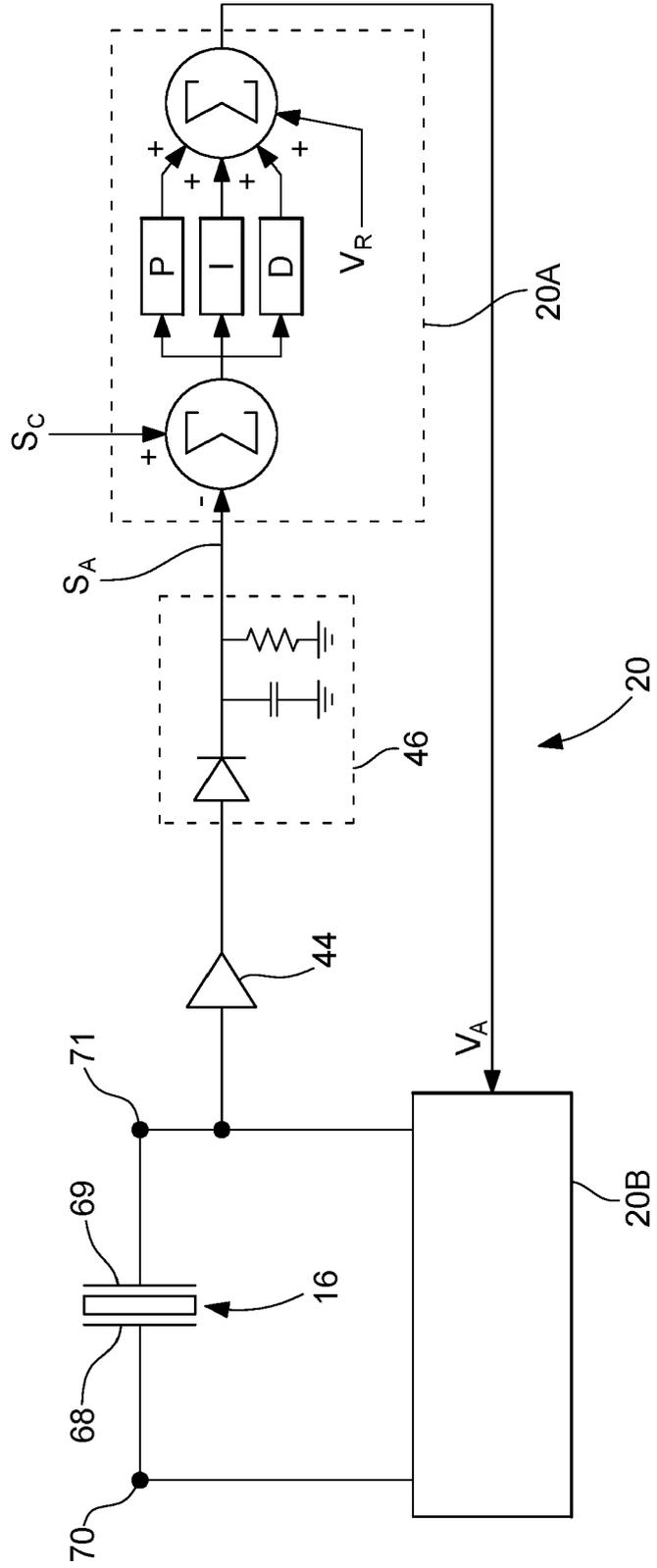


Fig. 7





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande  
EP 21 18 9581

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,D	US 8 721 169 B2 (TEAM SMARTFISH GMBH [CH]) 13 mai 2014 (2014-05-13) * alinéas [0016], [0053], [0054] * * alinéas [0009] - [0152] * -----	1-10	INV. G04C3/04 G04B17/06 G04B17/20 G04B17/26 G04B17/28
A,D	EP 3 540 528 A1 (SWATCH GROUP RES & DEV LTD [CH]) 18 septembre 2019 (2019-09-18) * alinéa [0008] - alinéa [0027] * -----	1-10	
A,D	EP 3 629 103 A1 (SWATCH GROUP RES & DEV LTD [CH]) 1 avril 2020 (2020-04-01) * alinéa [0019] - alinéa [0047] * -----	1-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			G04B G04G G04C
2	Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications		
Lieu de la recherche <b>La Haye</b>		Date d'achèvement de la recherche <b>11 janvier 2022</b>	Examineur <b>Cavallin, Alberto</b>
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

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

EP 21 18 9581

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.

11-01-2022

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication	
<b>US 8721169</b>	<b>B2</b>	<b>13-05-2014</b>	<b>CH 703051 A2</b>	<b>31-10-2011</b>
			<b>CH 703052 A2</b>	<b>31-10-2011</b>
			<b>EP 2561409 A1</b>	<b>27-02-2013</b>
			<b>JP 5764652 B2</b>	<b>19-08-2015</b>
			<b>JP 2013525778 A</b>	<b>20-06-2013</b>
			<b>US 2013051191 A1</b>	<b>28-02-2013</b>
			<b>WO 2011131784 A1</b>	<b>27-10-2011</b>
-----				
<b>EP 3540528</b>	<b>A1</b>	<b>18-09-2019</b>	<b>CN 110275420 A</b>	<b>24-09-2019</b>
			<b>EP 3540528 A1</b>	<b>18-09-2019</b>
			<b>JP 6797227 B2</b>	<b>09-12-2020</b>
			<b>JP 2019158882 A</b>	<b>19-09-2019</b>
			<b>US 2019286063 A1</b>	<b>19-09-2019</b>
-----				
<b>EP 3629103</b>	<b>A1</b>	<b>01-04-2020</b>	<b>CN 110967959 A</b>	<b>07-04-2020</b>
			<b>EP 3629103 A1</b>	<b>01-04-2020</b>
			<b>JP 6854329 B2</b>	<b>07-04-2021</b>
			<b>JP 2020056784 A</b>	<b>09-04-2020</b>
			<b>US 2020103826 A1</b>	<b>02-04-2020</b>
-----				

EPO FORM P0460

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

**RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION**

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

**Documents brevets cités dans la description**

- US 9721169 B [0002]
- EP 3540528 A [0003]
- EP 3629103 A [0003]