

# Régulateur horloger mécanique

---

Auteurs : Grégory Musy, Olivier Laesser, François Barrot

**La présente invention se rapporte à un régulateur horloger mécanique isochrone, auto-démarrant et dont la consommation énergétique est faible.**

Une manière de réduire la consommation énergétique d'un régulateur mécanique horloger est d'utiliser un oscillateur dit à guidage flexible tel que celui décrit par CH709291. Ce type d'oscillateur présente la particularité d'avoir d'une part un grand facteur de qualité et d'autre part une petite amplitude. Ces deux propriétés se retrouvent également dans les oscillateurs d'horloge, raison pour laquelle les échappements associés aux oscillateurs à guidage flexible sont souvent des échappements d'horloge tels que les échappements à recul ou à repos frottant. Le défaut principal de la plupart des régulateurs d'horloges est qu'ils ne sont pas auto-démarrants. Or l'auto-démarrage est une caractéristique essentielle pour un régulateur destinée à une montre-bracelet. En effet dans ce contexte, un choc extérieur peut engendrer une perte d'amplitude du balancier telle que le régulateur s'arrête. Si le régulateur n'est pas auto-démarrant, il restera alors bloqué.

On connaît ainsi par exemple EP1736838 qui décrit un oscillateur mécanique et un échappement à sauterelle. L'échappement est composé de deux lames élastiques dont chaque lame a une extrémité liée au balancier et une extrémité libre collaborant avec une roue d'échappement. Le balancier est poussée par une de ses lames jusqu'au-delà du point mort. C'est alors le balancier qui pousse sur l'autre lame pour que la première puisse dégager. Si le balancier n'a pas assez d'élan pour assurer le dégagement, alors le système se retrouve bloqué. Ce principe ne peut donc pas être auto-démarrant.

Il est également connu des systèmes d'échappement à repos frottant dont l'impulsion est transmise soit directement à un oscillateur à guidage flexible tels que EP3182213 et WO2017068538, soit indirectement via une lame élastique tel que WO2018100122. L'inconvénient principal d'un échappement à repos frottant est la consommation énergétique élevée du système du fait des frottements entre l'ancre et la roue d'échappement. De plus, l'isochronisme de ce type d'échappement est difficilement réglable.

Un autre type d'échappement déjà associé à un oscillateur à guidage flexible est l'échappement à détente comme EP3059641. Avec ce type d'échappement, l'impulsion ne peut être donnée à l'oscillateur qu'une alternance sur deux, on parle alors de coup perdu et ce principe, tout comme l'échappement à sauterelle, ne peut pas être auto-démarrant.

Le but de la présente invention est de proposer un régulateur horloger mécanique isochrone, auto-démarrant et dont la consommation énergétique est faible.

Le régulateur mécanique horloger de l'invention comporte un oscillateur à guidage flexible et un échappement à double détente, l'oscillateur comportant un balancier lié à une suspension élastique agencée pour guider et rappeler le balancier dans un plan d'oscillation. L'échappement comporte une roue d'échappement et une ancre intégrée au balancier et ayant deux bras agencés pour recevoir alternativement des impulsions de la roue d'échappement. L'échappement comporte en outre deux détentes bloquant alternativement la roue d'échappement entre deux impulsions et coopérant avec les bras de l'ancre pour libérer la roue d'échappement avant chaque impulsion, sans coopération directe entre l'ancre et la roue d'échappement. Puis la roue d'échappement transmet son impulsion directement aux bras de l'ancre.

L'avantage principal de l'invention par rapport à un régulateur horloger traditionnel composé d'un oscillateur de type balancier-spiral et d'un échappement à ancre suisse est que sa puissance consommée est beaucoup plus faible, typiquement au moins trois fois plus faible. De ce fait, le premier avantage résultant de cette faible consommation est que la réserve de marche de la montre sera plus longue. Cela implique que la durée d'utilisation de la montre avant qu'elle ne s'arrête sera au moins trois fois plus longue. Deuxième avantage lié à cette faible consommation d'énergie : le ressort de barillet mettra au moins trois fois plus de temps à se décharger ; son couple variera donc moins pendant un laps de temps donné ce qui signifie, pour un isochronisme donné du régulateur, que la variation de marche sur ce laps de temps sera également plus faible. Les caractéristiques du système qui permettent de minimiser cette consommation énergétique seront détaillées plus loin.

Dans une forme d'exécution, chaque détente est constituée d'une lame flexible ayant une extrémité fixe et une extrémité libre, ces extrémités libres coopérant d'une part avec un bras de l'ancre et d'autre part avec la roue d'échappement. Ces détentes se distancient donc clairement des détentes classiques tel que décrite dans EP3059641. En effet, une détente classique comprend une structure rigide munie d'un pivot, d'une butée rigide et d'une lame flexible.

On entend par lame flexible toute poutre prismatique (typiquement de section rectangulaire) dont l'épaisseur est au moins 10 fois plus faible que la longueur et au moins 2 fois plus faible que la largeur. La section peut changer de dimension le long de la lame et la trajectoire suivant la longueur de cette lame peut être droite ou courbée.

Selon cette forme d'exécution, l'extrémité libre de chaque détente comporte un plan de repos qui coopère avec les dents de la roue d'échappement pour bloquer celle-ci durant la phase de repos de l'échappement tout en permettant au balancier d'osciller sans contact avec la roue d'échappement.

Toujours selon cette même forme d'exécution, l'extrémité libre de chaque détente comporte un plan de dégagement qui coopère avec les bras de l'ancre pour libérer la roue d'échappement avant chaque impulsion.

De préférence, les extrémités des bras de l'ancre comportent des plans d'impulsion coopérant avec le bec de chaque dent de la roue d'échappement de sorte à transmettre l'énergie de la roue d'échappement au balancier. A la fin de l'impulsion l'extrémité du plan d'impulsion de l'ancre devient alors le bec d'impulsion et est poussé par le dos de l'une des dents de la roue d'échappement. Cela constitue une configuration avantageuse mais il est clair que le bec d'impulsion pourrait se situer uniquement sur la roue d'échappement et le plan d'impulsion uniquement sur l'ancre ou inversement.

Selon cette forme d'exécution préférentielle, les plans de repos des détentes sont disposés par rapport aux bras d'ancre de telle sorte qu'à la fin du dégagement (réalisé par l'ancre) de l'une ou l'autre des détentes, la dent de la roue d'échappement en contact avec le plan de repos de ladite détente transite directement sur le plan d'impulsion des bras d'ancre sans chuter. Une chute est une rotation dans le vide de la roue d'échappement, souvent nécessaire comme transition entre deux phases d'échappement pour s'assurer que le système ne puisse se bloquer mais constitue également une perte d'énergie significative de tout échappement. Dans cette forme d'exécution, une chute n'est pas nécessaire entre le dégagement et l'impulsion car la roue d'échappement ne comprend qu'une seule denture sur un seul niveau. Les plans de repos des détentes, les plans d'impulsion de l'ancre et la denture de la roue d'échappement se situent alors tous sur un même plan de travail. Néanmoins il pourrait être utile d'ajouter une chute entre la phase de dégagement et la phase d'impulsion pour éviter que les bras d'ancre génèrent un recul de la roue d'échappement avant la phase de dégagement en conséquence d'erreurs de positionnement à l'assemblage des pièces constituant l'échappement. Il est clair que le fonctionnement global du système resterait le même mais que la consommation énergétique pourrait être affectée. Par ailleurs, le fait que la roue d'échappement n'ait qu'un seul niveau et une seule denture constitue un avantage important du design car cela contribue également à réduire l'inertie de la roue d'échappement qui est un paramètre déterminant pour la consommation énergétique du régulateur. En effet, les pertes d'énergie inertielle sont dues au fait qu'il faille, à chaque impulsion, accélérer considérablement la roue d'échappement pour qu'elle rattrape le balancier et lui transmette son couple, cette énergie cinétique est ensuite perdue lorsque la roue d'échappement percute le plan de repos des détentes. Cette perte d'énergie inertielle peut devenir considérablement élevée au regard des autres types de perte lorsque l'on utilise un oscillateur à fréquence élevée tel qu'un oscillateur à guidage flexible. Il est donc crucial de minimiser l'inertie de la roue d'échappement pour un échappement fonctionnant avec ce type particulier d'oscillateur.

Selon cette exécution, à chaque période de l'oscillateur chacun des deux plans d'impulsion reçoit une impulsion de la roue d'échappement.

Selon cette exécution préférentielle, les plans d'impulsion des bras de l'ancre ont une forme bombée telle que, lorsque la roue d'échappement transmet son énergie au balancier, la roue d'échappement est animée essentiellement d'un mouvement uniformément accéléré. L'utilité de la forme des plans d'impulsion sera décrite plus loin.

Dans une forme d'exécution, le régulateur comporte une base fixe comportant deux butées rigides correspondant chacune respectivement à une des détentes, les deux butées rigides étant agencées pour donner un couple de précharge de sa détente respective contre la butée correspondante.

Selon cette forme d'exécution, au moins une des détentes comporte une extrémité liée rigidement à un bras coopérant avec une table de réglage, cette extrémité liée étant opposée à ladite extrémité libre de la détente flexible ; la position de cette table de réglage est modifiable par rapport à la base fixe afin de changer l'orientation de la détente flexible par rapport à sa butée rigide, ce qui permet de modifier le couple de précharge de la détente flexible qui est en appui contre sa butée rigide.

Dans une autre forme d'exécution, au moins l'une des détentes coopère avec un organe de rigidification agencé pour modifier la longueur active de la lame flexible de ladite détente.

Dans une forme d'exécution, l'ancre comporte un bec coopérant avec une dent de la roue d'échappement de telle manière que cette dent de la roue d'échappement agit comme plan de repos dans le cas où l'une des détentes n'arrive pas à bloquer la roue d'échappement.

La suspension élastique de l'oscillateur comporte de préférence au moins deux lames de pivot flexibles.

Le balancier, l'ancre et les détentes sont réalisés typiquement en silicium et mise en forme pour les technologies DRIE et le corps inertiel du balancier est obtenu par l'assemblage d'un anneau en matériau dense et d'un anneau en silicium. Le silicium pourrait être remplacé par un autre matériau comme du verre de silice qui serait mis en forme par un laser typiquement femto-seconde et éventuellement suivit d'une attaque chimique.

L'invention concerne également un mouvement d'horlogerie ou une montre-bracelet comportant un régulateur selon la présente invention.

Les caractéristiques de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description de plusieurs formes d'exécution données uniquement à titre d'exemple, nullement limitatives, et en se référant aux figures schématiques, dans lesquelles :

- La figure 1 représente une vue de face d'un régulateur comportant un oscillateur à guidage flexible et un échappement à double détente ;
- La figure 2 représente une vue oblique du même régulateur ;
- La figure 3 représente une vue oblique des fonctions d'entrée de l'échappement ;
- La figure 4 représente une vue oblique des fonctions de sortie de l'échappement ;
- La figure 5 représente une vue de dessus de l'échappement en position de repos d'entrée ;
- La figure 6 représente une vue de dessus de l'échappement en position de dégagement d'entrée ;
- La figure 7 représente une vue de dessus de l'échappement en position d'impulsion d'entrée ;
- La figure 8 représente une vue de dessus de l'échappement en position de fin d'impulsion d'entrée ;
- La figure 9 représente une vue de dessus de l'échappement en position de repos de sortie ;
- La figure 10 représente une manière alternative de régler le défaut d'isochronisme du système.

Comme illustré aux figures 1 et 2, le régulateur mécanique horloger comporte un oscillateur à guidage flexible et un échappement à double détente, l'oscillateur comportant un balancier 1 lié cinématiquement à une suspension élastique 2a, 2b agencée pour guider et rappeler le balancier 1 dans un plan d'oscillation. L'échappement comporte une roue d'échappement 3 et une ancre 4 intégrée au balancier 1 et disposant de deux bras 5, 6 agencés pour recevoir alternativement des impulsions de la roue d'échappement 3. L'échappement comporte en outre deux détentes 7, 8 bloquant alternativement la roue d'échappement 3 entre deux impulsions et coopérant avec les bras 5, 6 de l'ancre pour libérer la roue d'échappement 3 avant chaque impulsion, sans coopération directe entre l'ancre et la roue d'échappement.

L'oscillateur à guidage flexible est composé d'un corps inertiel 1a lié à la suspension élastique 2a, 2b assurant d'une part la fonction de guidage du corps inertiel 1a dans la trajectoire voulue et d'autre part la fonction de rappel élastique.

Chaque détente 7, 8 est constituée d'une lame flexible ayant une extrémité fixe 7a, 8a et une extrémité libre 7b, 8b, cette extrémité libre coopérant d'une part avec un bras 5, 6 de l'ancre et d'autre part avec la roue d'échappement 3.

Le défaut d'isochronisme de la suspension 2a, 2b de l'oscillateur est corrigé par les détentes 7, 8. Une seule détente 7, 8 est en appui sur le balancier 1 pendant l'arc supplémentaire et les deux détentes 7, 8 sont en contact avec le balancier 1 durant le dégagement de la roue d'échappement et l'impulsion. Les détentes 7, 8 étant flexibles, la rigidité du régulateur varie durant l'oscillation. Les détentes 7, 8 ont donc tendance à diminuer la rigidité moyenne de l'oscillateur à grande amplitude. Cela compense le fait que la suspension flexible de l'oscillateur a tendance à être plus rigide en moyenne à grande amplitude.

L'extrémité libre de chaque détente 7b, 8b comporte un plan de repos 7c, 8c (voir figures 2, 3 et 4) qui coopère avec les dents de la roue d'échappement 3 pour bloquer celle-ci durant la phase de repos de l'échappement tout en permettant au balancier 1 d'osciller sans contact avec la roue d'échappement 3.

L'extrémité libre de chaque détente 7, 8 comporte un plan de dégagement qui coopère avec les bras 5, 6 de l'ancre pour libérer la roue d'échappement 3 avant chaque impulsion.

Comme illustré aux figures 3 et 4, les extrémités des bras 5, 6 de l'ancre comportent des plans d'impulsion 5a, 6a coopérants avec les dents de la roue d'échappement 3 de sorte à transmettre l'énergie de la roue d'échappement 3 au balancier 1. A la fin de la première partie d'impulsion, l'extrémité du plan d'impulsion 5c, 6c devient le bec d'impulsion et est poussé par le plan d'impulsion de la dent de la roue d'échappement 3c.

Les plans d'impulsion 5a, 6a sont avantageusement disposés en contiguë avec les plans de repos des détentes 7c, 8c au moment du dégagement, de manière à éviter une chute entre le dégagement et l'impulsion ; Si elle n'était évitée, cette chute causerait une perte d'énergie, donc un rendement plus faible de l'échappement et donc une amplitude plus faible du balancier 1. Cet effet peut être obtenu par le fait que la roue d'échappement 3 ne comprend d'une seule denture sur un seul niveau et que la roue d'échappement 3 se situe sur le même plan P de travail que les plans de repos 7c, 8c des détentes et les plans d'impulsion de l'ancre 5a, 6a.

A chaque période de l'oscillateur, chacun des deux plans d'impulsions 5a, 6a des bras d'ancre reçoit une impulsion de la roue d'échappement 3. Ces plans d'impulsion 5a, 6a ont une forme bombée telle que, lorsque la roue d'échappement 3 transmet son énergie au balancier 1, la roue d'échappement 3 est animée essentiellement d'un mouvement uniformément accéléré. Autrement dit, les plans

d'impulsion 5a, 6a sont dits à effleurement, c'est-à-dire qu'ils garantissent au moins l'effleurement du bec de la roue d'échappement 3a contre l'un des plans d'impulsion 5a, 6a durant la phase d'impulsion. Cela assure une transmission continue de l'énergie de la roue d'échappement 3 au balancier 1. Cette caractéristique est importante pour les échappements coopérant avec un oscillateur à guidage flexible car ces derniers ont la particularité d'avoir une fréquence élevée, typiquement de 10 à 20 Hz, et une faible amplitude, typiquement de 5 à 20 degrés. Dans ce contexte, la phase d'impulsion est brève et le balancier 1, pour une amplitude donnée, se déplace rapidement. De plus la roue d'échappement 3 avant l'impulsion est à l'arrêt alors que le balancier 1 est proche de sa vitesse maximum. Ainsi, grâce au plan d'impulsion à effleurement, la roue d'échappement 3 arrivera de toute manière à rattraper le balancier 1 et à lui transmettre son énergie et ce quel que soit l'amplitude du balancier 1, de l'arrêt jusqu'à son amplitude nominale. De plus, le profil à effleurement implique un rapport de transmission variable entre la roue d'échappement 3 et l'ancre 4. Le couple appliqué à l'ancre 4 augmente alors au cours de l'impulsion de sorte de compenser l'augmentation du couple de rappel de la suspension élastique 2a, 2b de l'oscillateur. Ainsi même lorsque l'oscillateur est à l'arrêt, le couple de la roue d'échappement 3 est suffisant pour finir l'impulsion, ce qui permet l'auto-démarrage du système. Le régulateur comporte une base fixe 9 comportant deux butées rigides 10a, 10b interagissant chacune respectivement avec une des détentes 7, 8 ; chacune de ces butées rigides est agencée pour appliquer un couple de précharge sur sa détente respective.

Les détentes 7, 8, lorsqu'elles ne sont pas en contact avec le balancier 1, reposent avec un couple de précharge contre des butées rigides 10a, 10b. Le couple de précharge d'au moins une des détentes est réglable et permet de corriger le défaut d'isochronisme du régulateur horloger. De plus, les butées rigides 10a, 10b (voir figure 7) et le couple de précharge permettent d'assurer le positionnement des détentes 7, 8 durant les repos et de sécuriser leur positionnement en cas de chocs extérieurs.

Dans l'exemple illustré par les figures 1 à 9, l'orientation de la détente 8 est réglable et permet d'ajuster le défaut d'isochronisme du régulateur horloger. La détente 8 comporte une extrémité 8a liée rigidement à un bras 13 coopérant avec une table de réglage 11. Cette extrémité liée 8a est opposée à l'extrémité libre 8b de la détente flexible 8 ; la position de cette table de réglage 11 est modifiable par rapport à la base fixe 9 afin de changer l'orientation de la détente flexible 8 par rapport à sa butée rigide 10b, modifiant ainsi le couple de précharge de la détente flexible 8 appuyée contre la butée rigide correspondante 10b. Il est clair que ce mécanisme peut également être utilisé pour réaliser un réglage fin de la fréquence du système.

Alternativement et illustrée à la figure 10, toujours afin de régler l'isochronisme ou la fréquence du système, la détente 8 pourrait coopérer avec un organe de rigidification 14 agencé pour modifier la longueur active de la lame flexible de la détente.

Revenant à l'exécution des figures 1 à 9, chaque bras de l'ancre 4 comporte un bec 5b, 6b coopérant avec une dent de la roue d'échappement 3 de telle manière que la partie 3b de cette dent de la roue d'échappement 3 agit comme un plan de repos en substitution des détentes 7, 8 au cas où, par exemple suite à un choc, l'une de ces dernières n'arrive pas à bloquer la roue d'échappement 3.

Par ailleurs, il est également possible d'ajouter des plans de blocage sur le balancier 1. Ces plans de blocage, par exemple à la suite d'un choc, empêcheraient l'une ou l'autre des détentes de trop pivoter et de libérer la roue d'échappement. Ce blocage interviendrait donc uniquement lorsque la roue d'échappement 3 est en appui avec la détente 7, 8 en question.

Les figures 5 à 9 illustrent le fonctionnement séquentiel de l'échappement à double détentes au cours de l'alternance où le balancier 1 oscille dans le sens horaire. Les principales phases de l'échappement sont les suivantes :

- La roue d'échappement 3 commence par être sur le repos de la détente d'entrée 7c (figure 5), la détente d'entrée 7 est en appui sur sa butée 10a et la détente de sortie 8 est en appui sur le bras de sortie 6 de l'ancre.
- Le pivotement du balancier 1 provoque le dégagement de la détente d'entrée 7 par le bras d'entrée de l'ancre 5, ce qui libère la roue d'échappement 3 (figure 6), la détente d'entrée 7 n'est alors plus en contact avec sa butée 10a et est emportée par le bras d'entrée de l'ancre 5.
- La roue d'échappement 3 est maintenant libérée et pivote dans le sens horaire (figure 7), le bec 3a de l'une des dents de la roue d'échappement est en contact avec le plan d'impulsion à effleurement d'entrée 5a et pousse l'ancre 4.
- La roue d'échappement 3 poursuit ensuite son impulsion (figure 8), le plan d'impulsion 3c de la dent poussant le bras d'entrée de l'ancre 5.
- En fin d'impulsion, le bras d'ancre opposé dépose la détente sur sa butée.
- L'impulsion d'entrée est terminée (figure 9), la roue d'échappement 3 chute dans le sens horaire et est bloquée par le plan de repos 8c de la détente de sortie. La détente de sortie 8 est en appui contre sa butée 10b et la détente d'entrée 7 est emportée par le bras d'entrée de l'ancre 5.



L'alternance suivante se poursuit alors de manière équivalente avec la rotation du balancier 1 dans le sens antihoraire suivie du dégagement, de l'impulsion et de la chute de sortie.

Dans l'exemple illustré, la suspension élastique 2a, 2b de l'oscillateur sur pivot flexible comporte deux lames mais elle pourrait en comporter davantage et la topologie choisie (ici de type Wittrick selon EP2911012) pour représenter cet oscillateur est donnée uniquement à titre d'exemple et n'est nullement limitative.

Grâce au régulateur de la présente invention, la consommation énergétique peut être très faible, inférieure à 0.3 uW (typiquement 0.25 uW). Une si faible puissance consommée est liée principalement :

- à la faible amplitude du balancier requise pour pouvoir être isochrone et peu sensible à la gravité, typiquement entre 8 et 16 degrés,
- à l'absence de frottement dans le pivot flexible du balancier,
- au fait que l'impulsion est transmise directement de la roue d'échappement au balancier ce qui supprime toute perte d'énergie associée à un mobile intermédiaire entre la roue et le balancier,
- au fait que les détentes permettent de limiter les frottements que l'on pourrait avoir durant une éventuelle phase de repos ou de recul,
- à l'absence de chute entre le dégagement de la roue d'échappement et l'impulsion, et
- à la minimisation de l'inertie de la roue d'échappement.

Un autre avantage du présent régulateur est que le défaut d'isochronisme de l'échappement à double détente compense naturellement le défaut d'isochronisme du pivot flexible de l'oscillateur. Cet effet est obtenu par le fait que contrairement aux échappements à détente classique, il y a toujours au moins une détente en contact avec le balancier. De plus, comme expliqué précédemment, le défaut d'isochronisme de l'échappement de la présente invention est réglable, ce qui permet de s'adapter au défaut de l'oscillateur qui peut varier d'un oscillateur à l'autre en raison des imprécisions de fabrication et d'assemblage des pièces.

Finalement, l'échappement à double détente du présent régulateur est auto-démarrant car d'une part il n'a pas de coup perdu contrairement aux échappements classiques à détente et d'autre

part il ne nécessite pas d'élan particulier du balancier pour permettre le dégagement de la roue d'échappement. Par ailleurs, le profil des plans d'impulsion à effleurement implique un rapport de transmission variable qui augmente le couple appliqué à l'ancre par la roue d'échappement à la fin de l'impulsion, ce qui facilite l'auto-démarrage.

- (1) Balancier
  - (1a) Corps inertiel
  - (2a, 2b) Suspension élastique
- (3) Roue d'échappement
  - (3a) Bec d'une dent de la roue d'échappement
  - (3b) Plan de repos de secours d'une dent de la roue d'échappement
  - (3c) Plan d'impulsion d'une dent de la roue d'échappement
- (4) Ancre
  - (5) Bras d'entrée de l'ancre
    - (5a) Plan d'impulsion du bras d'entrée de l'ancre
    - (5b) Bec de secours du bras d'entrée de l'ancre
    - (5c) Bec de fin d'impulsion d'entrée de l'ancre
  - (6) Bras de sortie de l'ancre
    - (6a) Plan d'impulsion du bras de sortie de l'ancre
    - (6b) Bec de secours du bras de sortie de l'ancre
    - (6c) Bec de fin d'impulsion de sortie de l'ancre
- (7) Détente d'entrée
  - (7a) Extrémité fixe de la détente d'entrée
  - (7b) Extrémité libre de la détente d'entrée
  - (7c) Plan de repos de la détente d'entrée
  - (7d) Plan de dégagement de la détente d'entrée
- (8) Détente de sortie
  - (8a) Extrémité fixe de la détente de sortie
  - (8b) Extrémité libre de la détente de sortie

- (8c) Plan de repos de la détente de sortie
- (8d) Plan de dégagement de la détente de sortie
- (9) Base fixe
- (10a) Butée de la détente d'entrée
- (10b) Butée de la détente de sortie
- (11) Table de réglage
- (12) Guidage flexible du bras de réglage de la précharge
- (13) Bras de réglage
- (14) Organe de rigidification

## REVENDEICATIONS

1. Régulateur mécanique horloger comportant un oscillateur à guidage flexible et un échappement à double détente, l'oscillateur comportant un balancier (1) lié cinématiquement à une suspension élastique (2a, 2b) agencée pour guider et rappeler le balancier (1) dans un plan d'oscillation, l'échappement comportant :

- une roue d'échappement (3),
- une ancre (4) intégrée au balancier (1) et ayant deux bras (5, 6) agencées pour recevoir alternativement des impulsions de la roue d'échappement (3),

**caractérisé en ce que** ledit échappement comporte deux détentes (7, 8) bloquant alternativement la roue d'échappement (3) entre deux impulsions et coopérant avec les bras (5, 6) de l'ancre pour libérer la roue d'échappement (3) avant chaque impulsion, sans coopération directe entre l'ancre et la roue d'échappement.

2. Régulateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que chaque détente (7, 8) est constituée d'une lame flexible ayant une extrémité fixe (7a, 8a) et une extrémité libre (7b, 8b), ces extrémités libres coopérant d'une part avec un bras (5, 6) de l'ancre et d'autre part avec la roue d'échappement (3).

3. Régulateur selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'extrémité libre de chaque détente (7b, 8b) comporte un plan de repos (7c, 8c) qui coopère avec des dents de la roue d'échappement (3) pour bloquer celle-ci durant la phase de repos de l'échappement tout en permettant au balancier (1) d'osciller sans contact avec la roue d'échappement (3).

4. Régulateur selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que l'extrémité libre de chaque détente (7, 8) comporte un plan de dégagement 7d, 8d qui coopère avec les bras (5, 6) de l'ancre pour libérer la roue d'échappement (3) avant chaque impulsion.

5. Régulateur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les extrémités des bras (5, 6) de l'ancre comportent des plans d'impulsion (5a, 6a) coopérant avec les dents de la roue d'échappement (3) de sorte à transmettre l'énergie de la roue d'échappement (3) au balancier (1).

6. Régulateur selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'il comporte des plans de repos des détentes (7c, 8c) disposés par rapport aux bras (5, 6) d'ancre de telle sorte qu'à la fin du

dégagement de l'une ou l'autre des détentes, la dent de la roue d'échappement (3) en contact avec le plan de repos de ladite détente transite directement sur le plan d'impulsion (5a, 6a) des bras (5, 6) d'ancre sans chuter.

7. Régulateur selon la revendication 6, caractérisé en ce que la roue d'échappement (3) n'est constituée que d'une seule denture réalisé sur un seul niveau et travaille dans le même plan de travail P que les plans d'impulsion de l'ancre (5a, 6a) et les plan de repos des détentes (7c, 8c)
8. Régulateur selon la revendication 5, 6 ou 7 caractérisé en ce que chacun des deux plans d'impulsion (5a, 6a) reçoit une impulsion de la roue d'échappement (3) par période de l'oscillateur.
9. Régulateur selon la revendication 5, 6, 7 ou 8, caractérisé en ce que les plans d'impulsion (5a, 6a) des bras d'ancre ont une forme bombée.
10. Régulateur selon la revendication 9, caractérisé en ce que les plans d'impulsion (5a, 6a) des bras d'ancre ont une forme bombée telle que, lorsque la roue d'échappement (3) transmet son énergie au balancier, la roue d'échappement (3) est animée essentiellement d'un mouvement uniformément accéléré.
11. Régulateur selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le régulateur comporte une base fixe (9) comportant deux butées rigides (10a, 10b) interagissant/associées chacune respectivement à une des détentes (7, 8), les deux butées rigides étant agencées pour appliquer un couple de précharge sur leurs détentes respectives.
12. Régulateur selon la revendication 11 lorsqu'elle dépend de l'une des revendications 2 à 4, caractérisé en ce qu'au moins une des détentes (7, 8) comporte une extrémité (8a) liée rigidement à un bras (13) coopérant avec une table de réglage (11), cette extrémité liée (8a) étant opposée à ladite extrémité libre (7a, 8a) de ladite détente flexible (7, 8), la position de cette table de réglage (11) étant modifiable par rapport à ladite base fixe (9) afin de changer l'orientation de la détente flexible (7, 8) par rapport à sa butée rigide (10a, 10b), modifiant ainsi le couple de précharge de ladite détente flexible (7, 8) contre la butée rigide correspondante (10a, 10b).
13. Régulateur mécanique horloger selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins l'une des détentes (7, 8) coopère avec un organe de rigidification (14) agencé pour modifier la longueur active de la lame flexible de ladite détente.

14. Régulateur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'ancre (4) comporte un bec (5b, 6b) sur chacune de ses bras (5, 6) coopérant avec une dent de la roue d'échappement (3) de telle manière que cette dent de la roue d'échappement (3) agit comme plan de repos (3b) dans le cas où l'une des détentes (7, 8) n'arrive pas à bloquer la roue d'échappement (3).
15. Régulateur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite suspension élastique (2a, 2b) comporte au moins deux lames de pivot flexibles.
16. Régulateur selon la revendication 15, caractérisé en ce que une première lame (2a) de ladite suspension élastique croise une seconde lame (2b) à l'emplacement du centre de masse du balancier (1) et à 12.5% de la longueur de chaque lame depuis la base fixe (9).
17. Régulateur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le balancier (1), l'ancre (4) et les détentes (7, 8) sont en silicium et le corps inertiel du balancier (1a) est obtenu par l'assemblage d'un anneau en matériau dense et d'un anneau en silicium.
18. Mouvement d'horlogerie comportant un régulateur selon l'une des revendications précédentes.
19. Montre-bracelet comportant un régulateur selon l'une des revendications 1 à 17.

## **ABREGE**

Le régulateur mécanique horloger de l'invention comporte un oscillateur à guidage flexible et un échappement à double détente, l'oscillateur comportant un balancier (1) lié à une suspension élastique (2a, 2b) agencée pour guider et rappeler le balancier (1) dans un plan d'oscillation. L'échappement comporte une roue d'échappement (3), et une ancre (4) intégrée au balancier (1) et ayant deux bras (5, 6) agencées pour recevoir alternativement des impulsions de la roue d'échappement (3). L'échappement comporte en outre deux détentes (7, 8) bloquant alternativement la roue d'échappement (3) entre deux impulsions et coopérant avec les bras (5, 6) de l'ancre pour libérer la roue d'échappement (3) avant chaque impulsion, sans coopération directe entre l'ancre et la roue d'échappement.

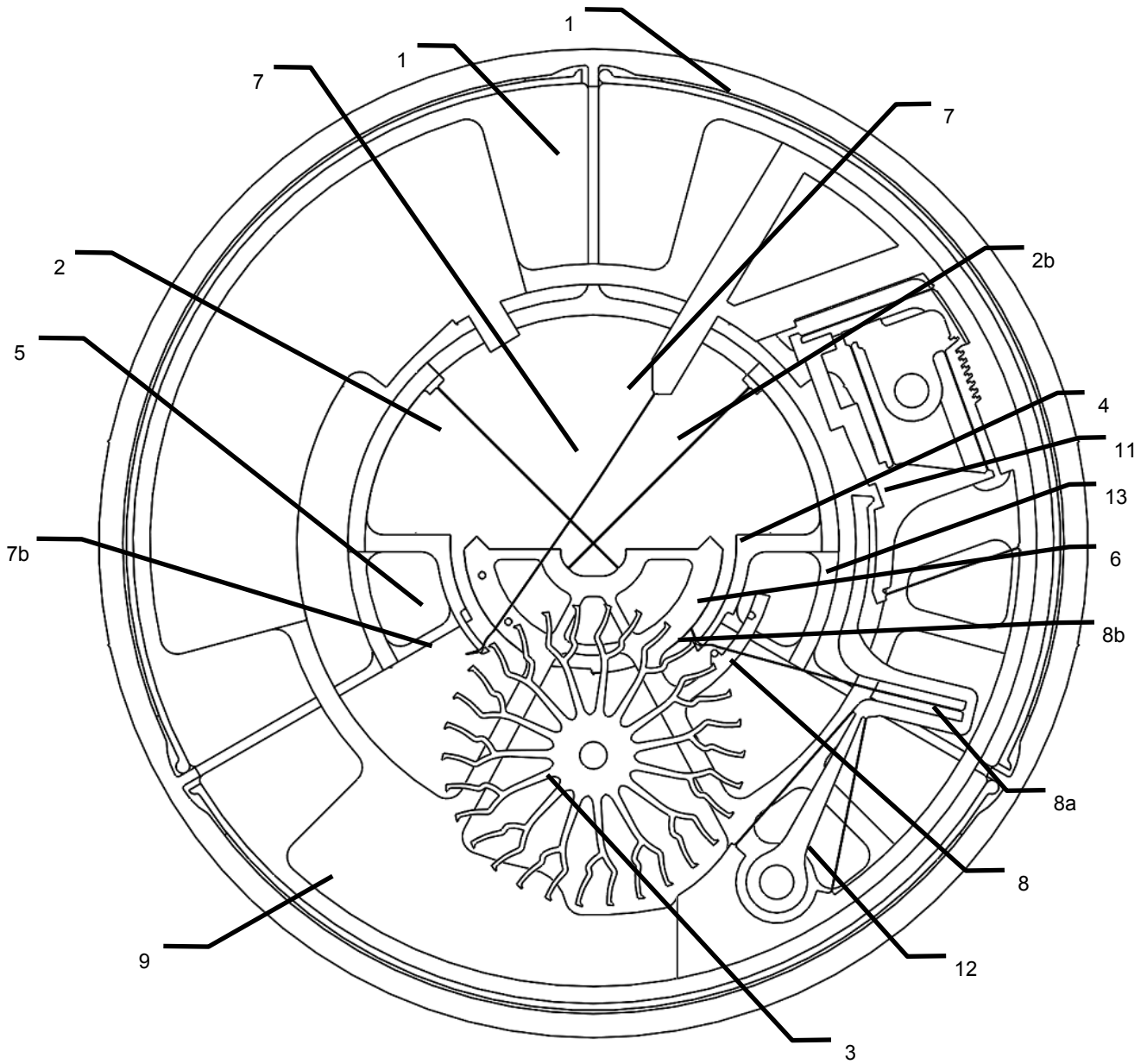


Figure 1



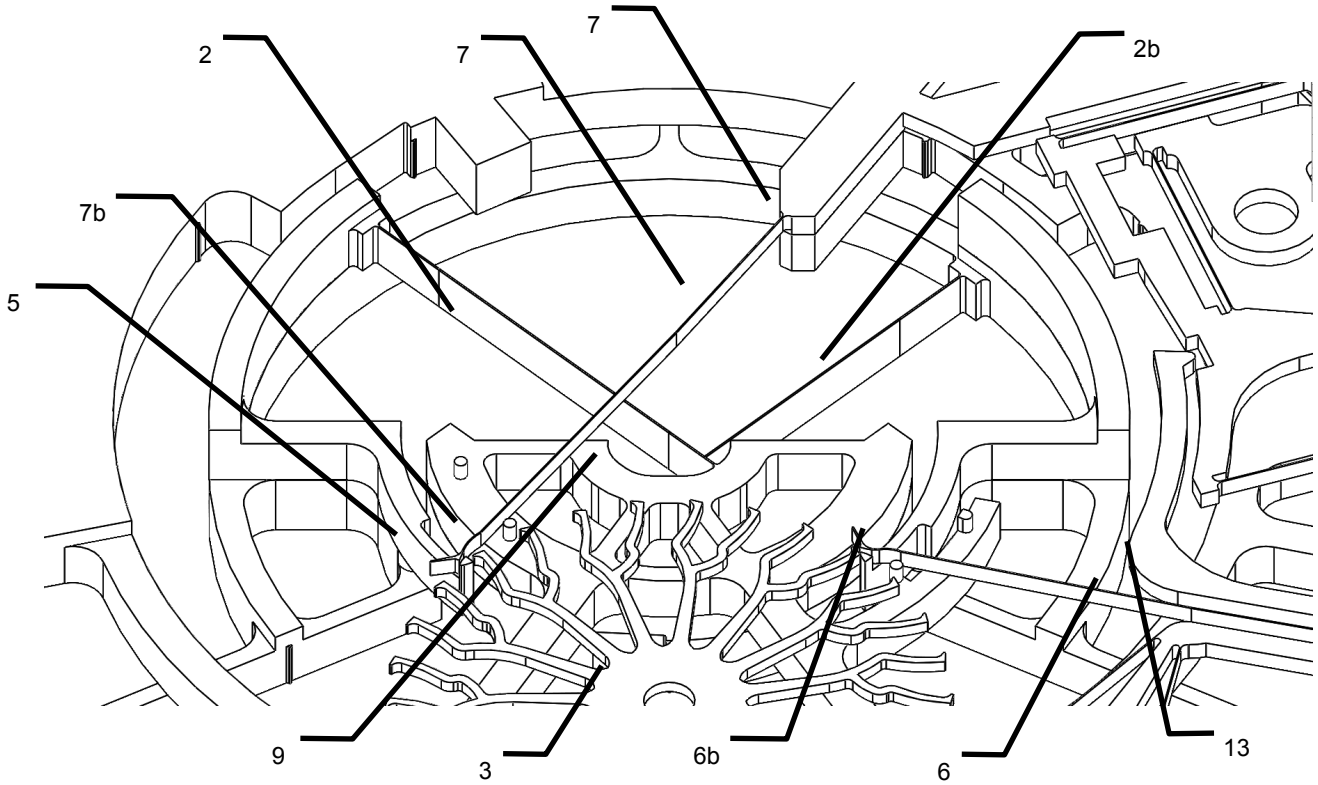


Figure 2

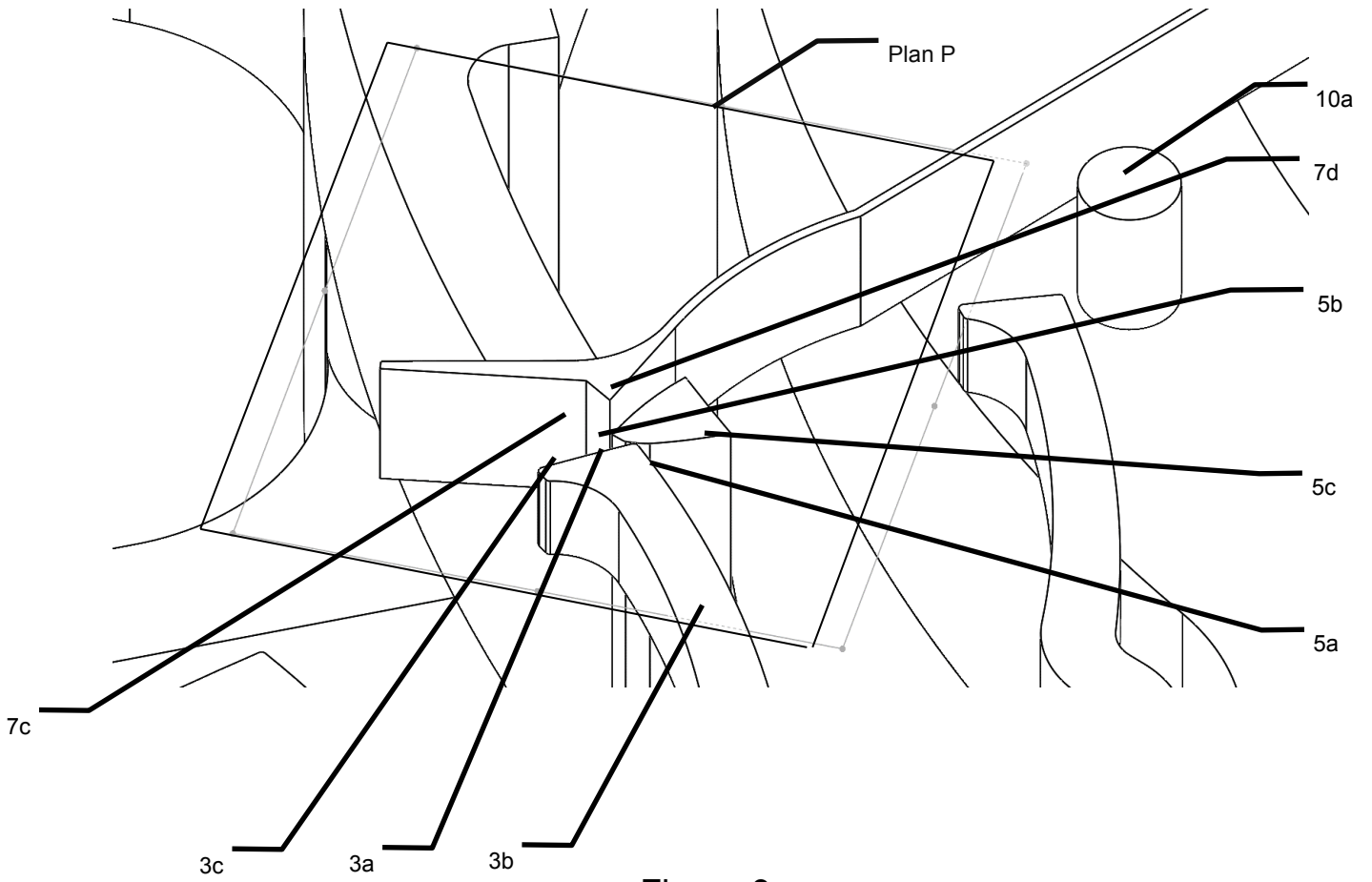


Figure 3

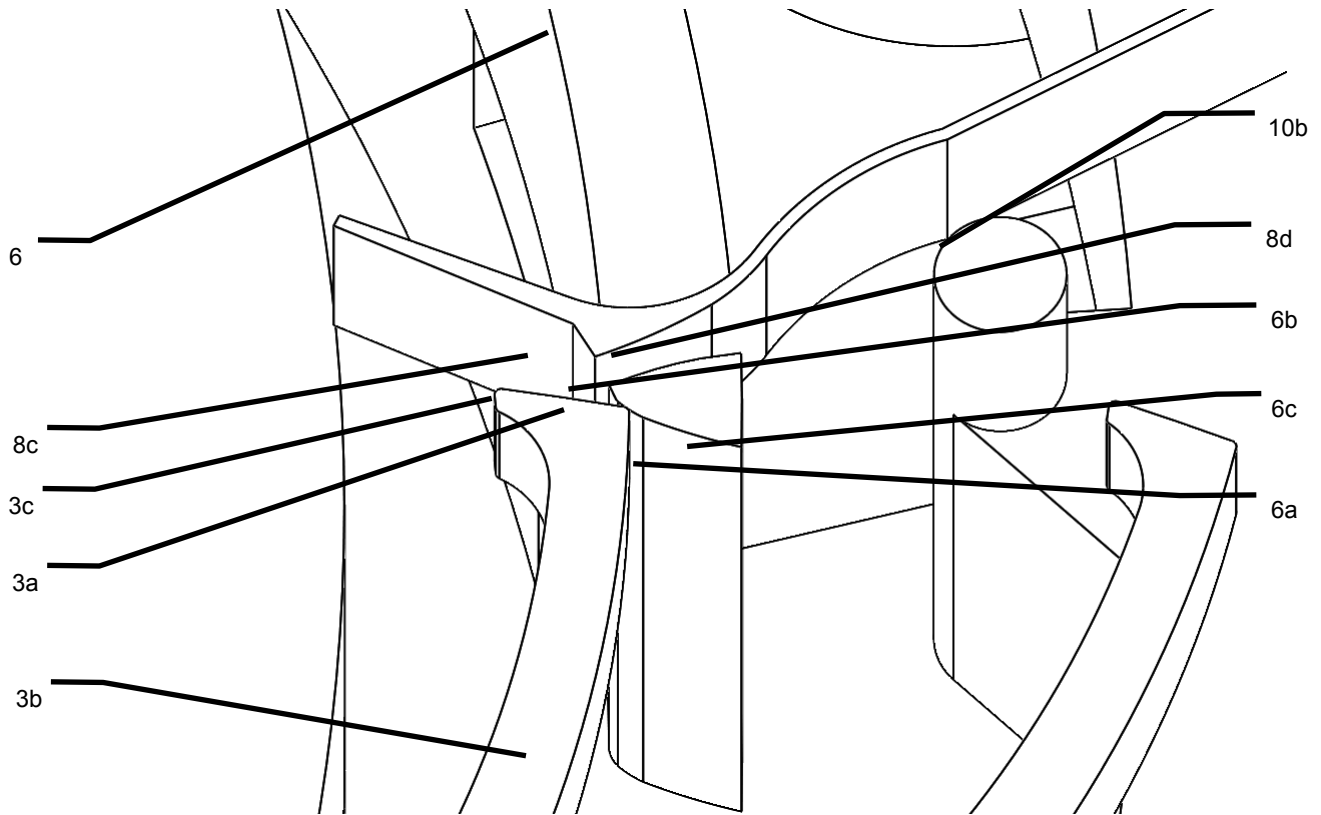


Figure 4

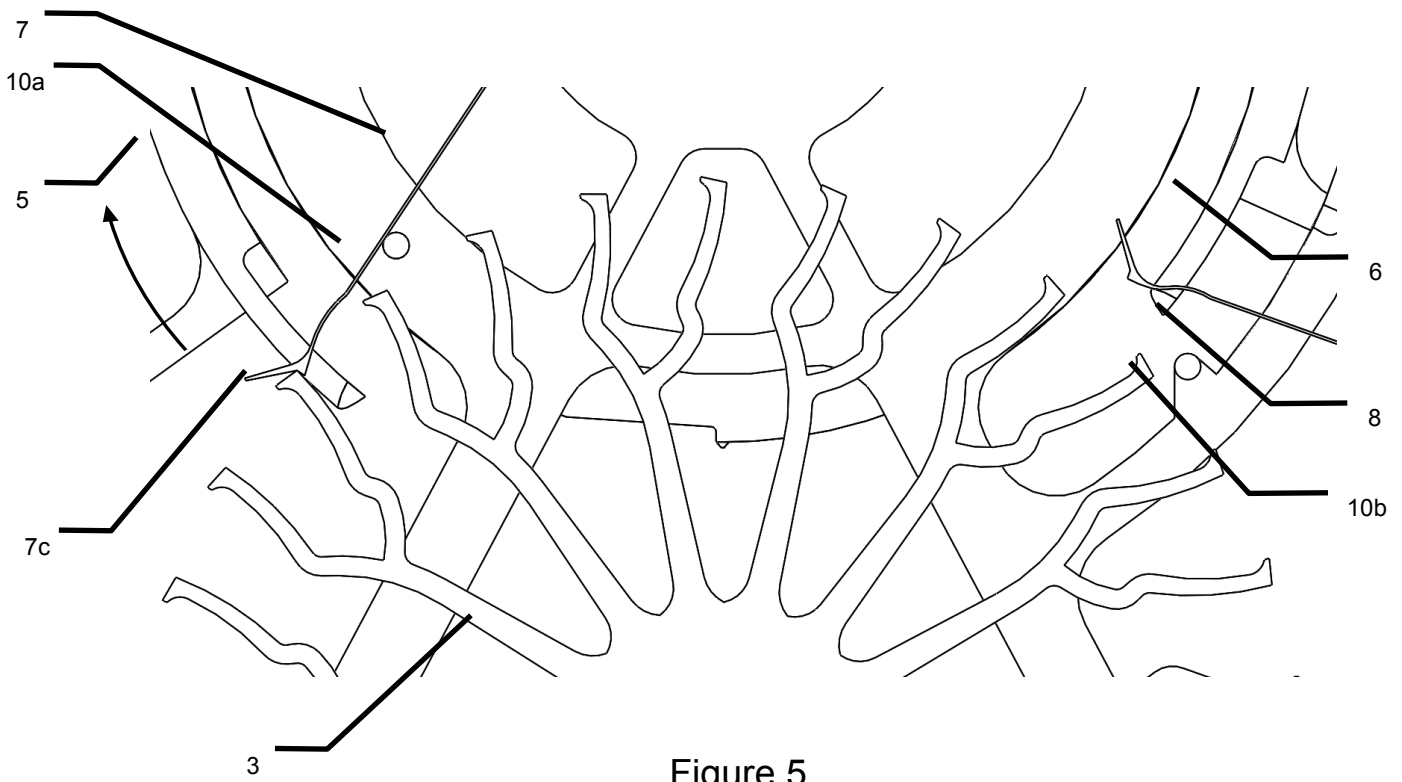


Figure 5

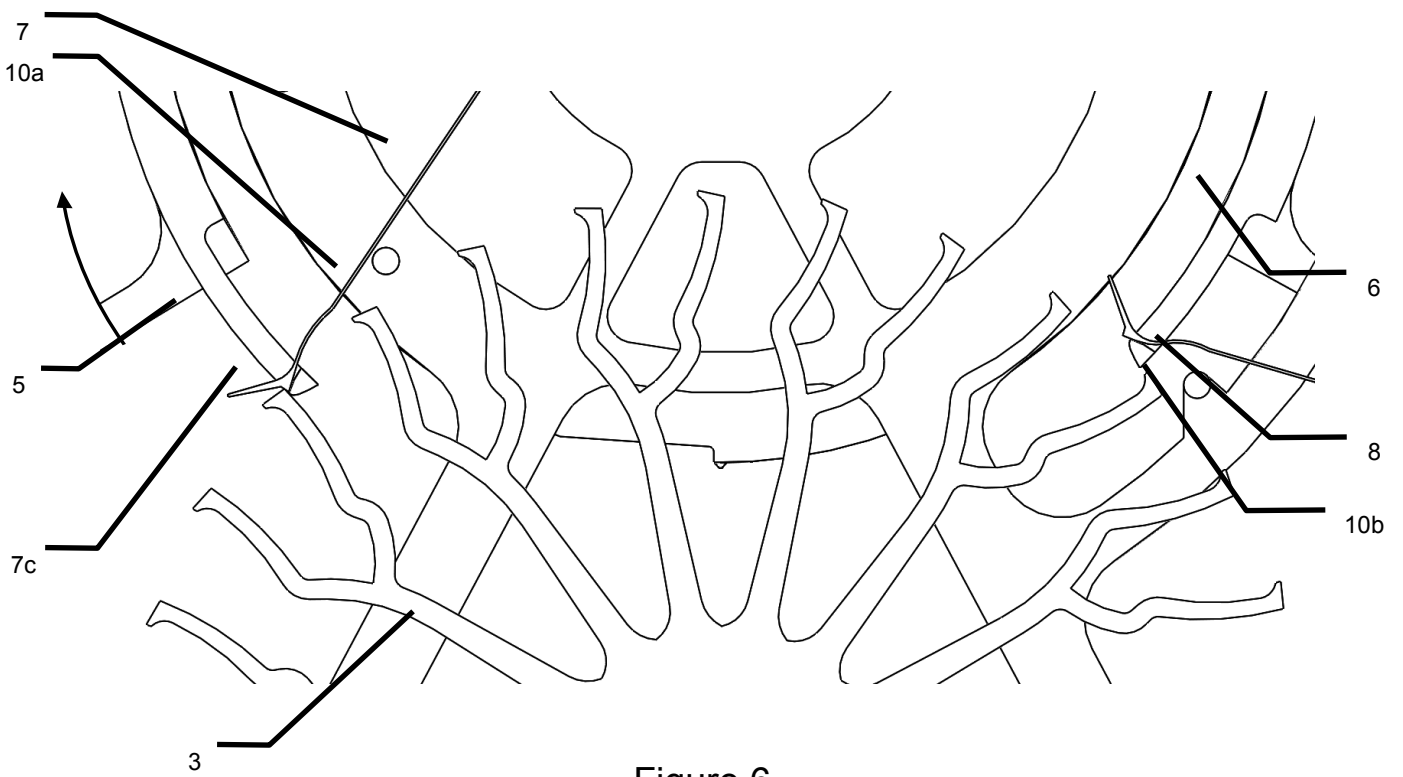


Figure 6

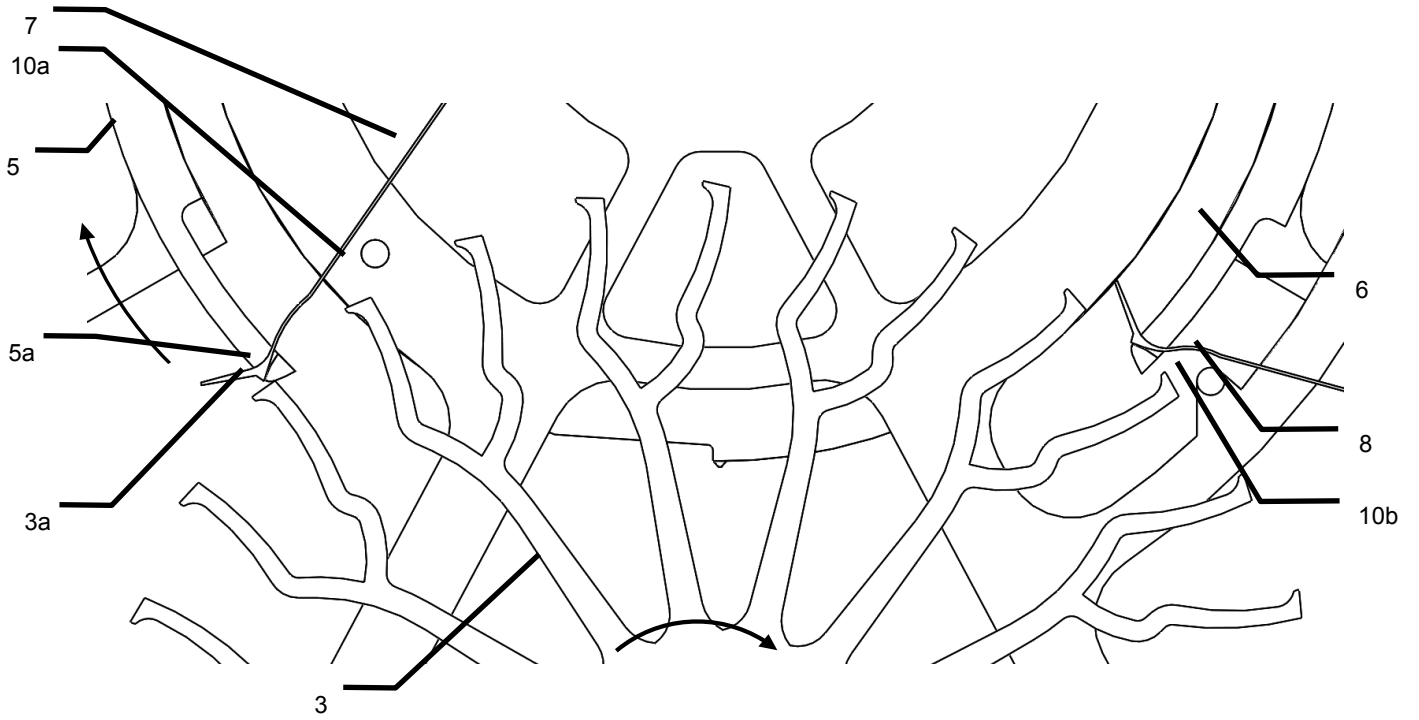


Figure 7

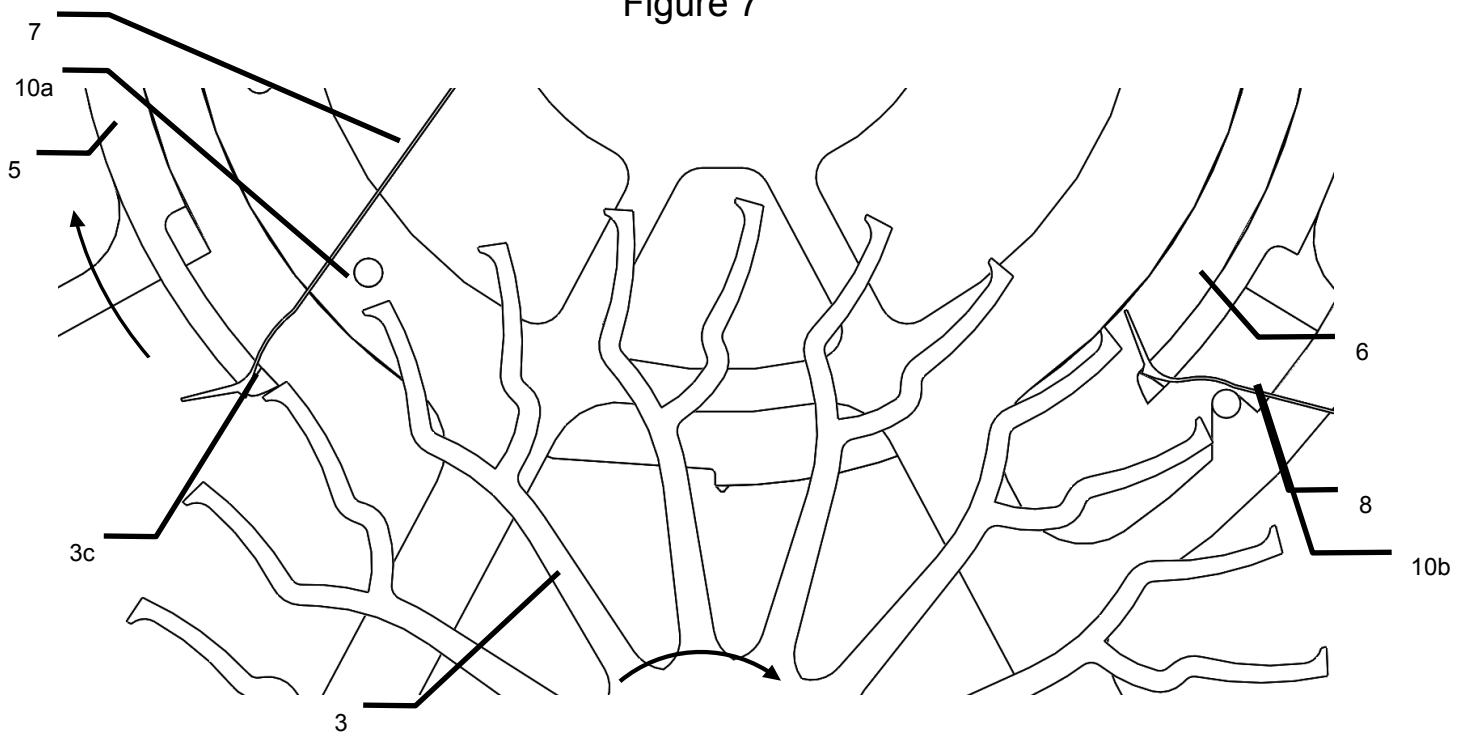


Figure 8

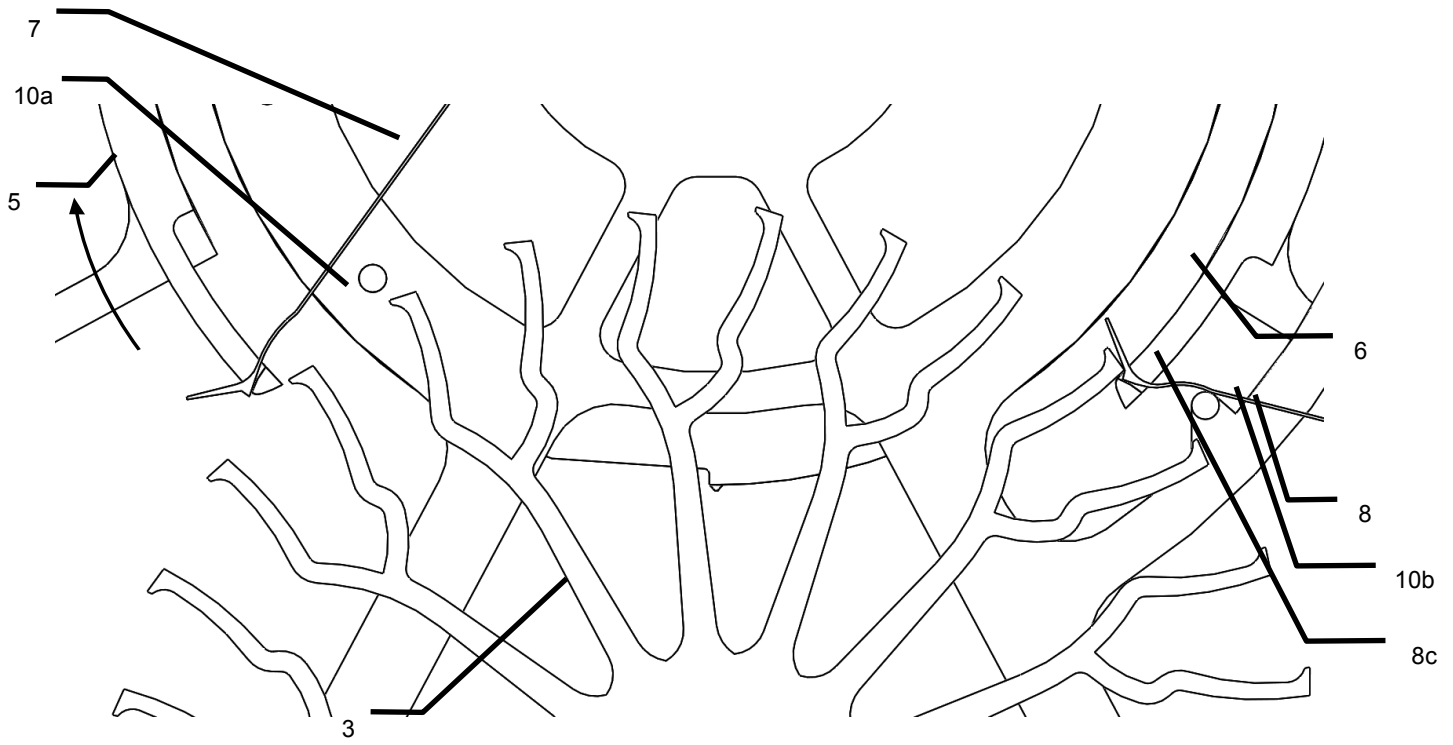


Figure 9

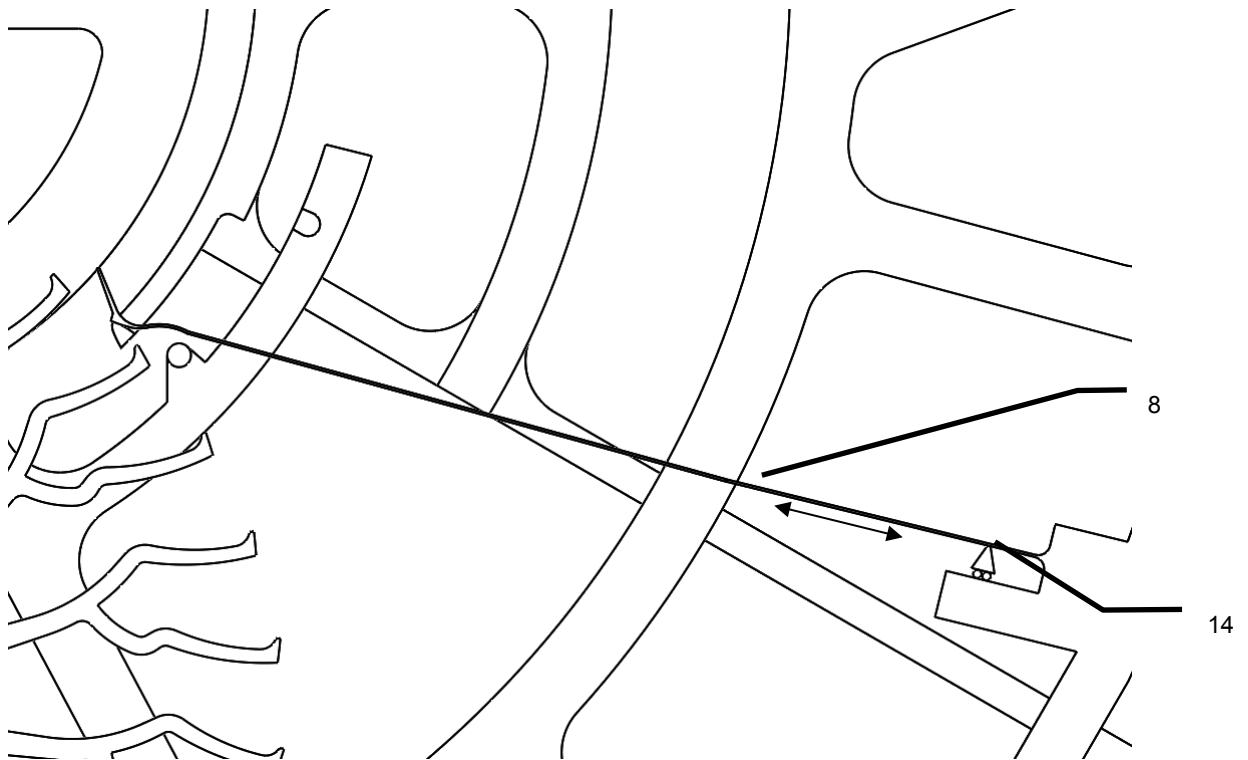


Figure 10