



(11) **EP 3 869 279 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
**25.08.2021 Bulletin 2021/34**

(51) Int Cl.:  
**G04B 15/14 (2006.01) G04B 15/08 (2006.01)**

(21) Numéro de dépôt: **21169122.5**

(22) Date de dépôt: **16.11.2017**

(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**

(30) Priorité: **17.11.2016 CH 15212016**

(62) Numéro(s) de document de la (des) demande(s)  
initiale(s) en application de l'article 76 CBE:  
**17801690.3 / 3 542 224**

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

(72) Inventeurs:  
• **HERAUD, Alexis  
25300 Pontarlier (FR)**  
• **MOLINA, Valentin  
25300 Pontarlier (FR)**

(74) Mandataire: **e-Patent SA  
Rue Saint-Honoré 1  
Case postale 2510  
2001 Neuchâtel (CH)**

Remarques:

Cette demande a été déposée le 19-04-2021 comme  
demande divisionnaire de la demande mentionnée  
sous le code INID 62.

(54) **ÉCHAPPEMENT À TRANSMISSION DE COUPLE OPTIMISÉ**

(57) Échappement (1) pour pièce d'horlogerie,  
comprenant :

- une roue d'échappement (3) montée pivotante autour d'un axe de rotation correspondant (5) et destinée à être entraînée par une source motrice, ladite roue d'échappement (3) comportant une pluralité de dents (7) ;
- une ancre (9) montée pivotante autour d'un axe de rotation correspondant (11), ladite ancre (9) comprenant une palette d'entrée (13) et une palette de sortie (15), chaque palette (13, 15) comprenant une face de repos (13a, 15a) agencée pour bloquer ladite roue d'échappement (3), ainsi qu'une face d'impulsion (13b, 15b) agencée pour interagir avec ladite roue d'échappement (3)

afin de transmettre des impulsions reçus de cette dernière à un organe réglant agencé pour effectuer des oscillations, ladite ancre (9) étant agencée pour libérer ladite roue d'échappement (3) périodiquement sous la commande dudit organe réglant, caractérisé en ce qu'au moins l'une desdites faces d'impulsion (13b, 15b) est conformée de telle sorte que, sur au moins une partie de ladite face d'impulsion (13b, 15b), et considéré à chaque point de contact (C') entre la roue d'échappement (3) et ladite face d'impulsion (13b, 15b), la tangente de ladite face d'impulsion (13b, 15b) intersecte l'entraxe (12) entre la roue d'échappement (3) et l'ancre (9) selon un angle ( $\alpha_{\text{orientation}}$ ) qui observe une relation particulière.

**EP 3 869 279 A1**

**Description****Domaine technique**

5 **[0001]** La présente invention se rapporte au domaine de l'horlogerie. Elle porte, plus particulièrement, sur un échappement à transmission de couple optimisé.

**Etat de la technique**

10 **[0002]** Un échappement classique, tel qu'un échappement à ancre suisse, à ancre anglais, un échappement Daniels, ou similaire, comporte une ancre qui bloque de manière intermittente une roue d'échappement, et transmet de l'énergie du rouage de finissage à l'organe réglant lorsque la roue est libérée. Des oscillations de l'organe réglant, tel qu'un balancier-spiral, actionnent l'ancre afin d'effectuer cette libération périodique de la roue d'échappement, et fournir à nouveau une impulsion à l'organe réglant pour entretenir ses oscillations.

15 **[0003]** À cet effet, l'ancre comporte au moins deux palettes, l'une - d'entrée - se situant en amont par rapport au sens de rotation de la roue d'échappement, l'autre - de sortie - se situant en aval. À chaque alternance de l'organe réglant, la palette qui est engagée avec la roue d'échappement est soulevée, libérant la roue d'échappement et transmettant une impulsion à l'organe réglant par l'intermédiaire d'une face d'impulsion que comporte chaque palette. En même temps, l'autre palette est déplacée dans la trajectoire des dents de la roue d'échappement, et la bloque. Puis, le cycle recommence pour l'autre palette.

20 **[0004]** Typiquement, les faces d'impulsion sont constituées par des plans. Bien que ces formes simples soient faciles à fabriquer, la transmission de couple varie le long de la phase d'impulsion, ce qui est néfaste pour le rendement de l'échappement.

25 **[0005]** Par ailleurs, de telles faces d'impulsion planes donnent lieu souvent à un décollement de la palette notamment lorsqu'elle effectue la transition de la phase d'impulsion sur la palette à la phase d'impulsion sur la dent, ce qui nuit également au rendement de l'échappement.

30 **[0006]** Le document CH702689 décrit un échappement dans lequel la palette de sortie et/ou la palette d'entrée présente une face d'impulsion qui est courbée de telle sorte que, pendant toute une partie de la phase d'impulsion, l'angle défini par les faces d'impulsion de la dent et de la palette au point de contact entre ces faces soit au plus égal à 7°. Ceci représente certes une amélioration par rapport à des faces d'impulsion planes, mais la forme choisie n'élimine pas les variations de la transmission de couple. Une étude de modélisation a montré que la dérivée du rapport de couple entre celui de l'ancre et celui de la roue d'échappement par rapport à l'angle de la roue d'échappement change de signe plusieurs fois, et ledit rapport de couple varie de l'ordre de 25% à 35% le long de la partie concave de la palette. De plus, la partie convexe en début de la face d'impulsion présente un rayon de courbure tout à fait classique, qui résulte des procédés de fabrication actuels, et n'a nullement été optimisé.

35 **[0007]** L'objet de la présente invention est donc d'au moins partiellement surmonter les inconvénients mentionnés ci-dessus.

**Divulgateion de l'invention**

40 **[0008]** À cet effet, l'invention concerne un échappement pour pièce d'horlogerie. Cet échappement comprend une roue d'échappement montée pivotante autour d'un axe de rotation et destinée à être entraînée par une source motrice, ladite roue d'échappement comportant une pluralité de dents.

45 **[0009]** L'échappement comprend en outre une ancre montée pivotante autour d'un axe de rotation, et comprend une palette d'entrée ainsi qu'une palette de sortie. Chaque palette comprend une face de repos agencée pour bloquer ladite roue d'échappement pendant les phases de repos, ainsi qu'une face d'impulsion agencée pour interagir avec ladite roue d'échappement afin de transmettre des impulsions reçues de cette dernière à un organe réglant agencé pour effectuer des oscillations, ladite ancre étant agencée pour libérer ladite roue d'échappement périodiquement sous la commande dudit organe réglant.

50 **[0010]** Selon l'invention, au moins l'une, de préférence chacune, desdites faces d'impulsion est conformée de telle sorte que, sur au moins une partie de ladite face d'impulsion, et considérée à chaque point de contact entre la roue d'échappement et ladite face d'impulsion, la tangente de ladite face d'impulsion intersecte l'entraxe entre la roue d'échappement et l'ancre selon un angle qui observe la relation

55

$$\alpha_{orientation} = \alpha - COF + \tan^{-1}\left(\frac{C \cdot R + \cos(\alpha - \theta) \cdot R_2}{R_2 \cdot \sin(\alpha - \theta)}\right) \quad \pm 10\%$$

avec

$$R_2 = \sqrt{R^2 * \sin^2(\alpha) + (-R * \cos(\alpha) + L)^2}$$

et avec

$$\theta = \tan^{-1} \left( R * \frac{\sin(\alpha)}{L - R * \cos(\alpha)} \right)$$

**[0011]** Dans ces équations, tous les angles s'expriment en radians, et

- $\alpha_{\text{orientation}}$  est l'angle entre ladite tangente et ledit entraxe ;
- $\alpha$  est l'angle entre une ligne joignant ledit point de contact et l'axe de rotation de ladite roue d'échappement et ledit entraxe ;
- $COF$  est la tangente trigonométrique du coefficient de frottement entre la roue d'échappement et ladite face d'impulsion (c'est-à-dire  $\tan(\mu)$  selon la notation habituelle) ;
- $R$  est la distance entre l'axe de rotation de ladite roue d'échappement et ledit point de contact, +/- 10% ;
- $C$  est le rapport de couple entre celui de l'ancre et celui de la roue d'échappement (c'est-à-dire  $C_{\text{ancre}}/C_{\text{roue}}$ ) ; et
- $L$  est la longueur dudit entraxe.

**[0012]** Ce faisant, la transmission de couple entre la roue d'échappement et l'ancre est améliorée, puisqu'elle reste constante le long de la phase d'impulsion. Cette transmission constante maximise le couple transmis, améliore le rendement de l'échappement et minimise la perturbation de l'organe réglant. Il faut noter qu'une étude a montré que la forme de la palette du document CH702689 ne correspond pas la forme définie ci-dessus, et que la transmission de couple n'est pas substantiellement constante, comme mentionné en préambule. Ceci est dû principalement (mais pas exclusivement) au fait que l'angle défini par les faces d'impulsion de la dent et de la palette au point de contact entre ces faces est constant et est au plus égal à 7° (de préférence au plus égale à 5°), ce qui ne peut jamais être cohérent avec les équations susmentionnées.

**[0013]** Si on applique ces équations à un échappement de géométrie conventionnelle, la face d'impulsion de la palette d'entrée est ainsi convexe, et celle de la palette de sortie est concave, sur la partie de chaque face pour laquelle les relations sont valides.

**[0014]** Avantagusement, la forme d'au moins une partie de chacune desdites faces d'impulsion observe ladite relation, ce qui a pour effet que la transmission de couple est constante pour chaque palette.

**[0015]** Avantagusement, la roue d'échappement comporte des dents ayant des faces d'impulsion convexes. La transition entre les diverses phases est ainsi lissée, ce qui évite à la palette de décoller de la roue pendant le cycle.

**[0016]** Dans le même but, l'invention concerne également un échappement qui comprend une roue d'échappement montée pivotante autour d'un axe de rotation et destinée à être entraînée par une source motrice, ladite roue d'échappement comportant une pluralité de dents. L'échappement comprend en outre une ancre montée pivotante autour d'un axe de rotation, et comprend une palette d'entrée ainsi qu'une palette de sortie. Chaque palette comprend une face de repos agencée pour bloquer ladite roue d'échappement ainsi qu'une face d'impulsion agencée pour interagir avec ladite roue d'échappement afin de transmettre des impulsions reçues de cette dernière à un organe réglant agencé pour effectuer des oscillations, ladite ancre étant agencée pour libérer ladite roue d'échappement périodiquement sous la commande dudit organe réglant.

**[0017]** Selon l'invention, sur au moins une partie d'une face d'impulsion que comporte chacune desdites dents, et considérée à chaque point de contact entre ladite face d'impulsion et une desdites palettes (notamment le bec aval de l'une de ces dernières), la tangente de ladite face d'impulsion intersecte l'entraxe entre la roue d'échappement et l'ancre selon un angle qui observe la relation

$$\alpha_{\text{orientation}} = \tan^{-1} \left( \frac{R * \text{Seuil} * \alpha * \cos(\alpha) + C * R * \cos(\alpha) + R * \cos(\alpha) - L}{R * \sin(\alpha) * (\text{Seuil} * \alpha + C - 1)} \right) \pm 10\%$$

**[0018]** Dans cette équation,

- $\alpha_{\text{orientation}}$  est l'angle entre ladite tangente et ledit entraxe ;

- $\alpha$  est l'angle entre une ligne joignant ledit point de contact et l'axe de rotation de ladite roue d'échappement et ledit entraxe ;
- *Seuil* est une valeur d'un seuil de décollement entre la roue d'échappement et l'ancre choisi par exemple par expérimentation ou par modélisation ;
- 5 - R est la distance entre l'axe de rotation de ladite roue d'échappement et ledit point de contact, +/- 10% ;
- C est le rapport de couple entre celui de l'ancre et celui de la roue d'échappement ;
- L est la longueur dudit entraxe.

10 **[0019]** Ce faisant, un décollement de la palette par rapport à la dent peut être éliminé lorsque la palette effectue la transition de la phase dite « impulsion sur la palette » à la phase « impulsion sur la dent », puisque la forte accélération qui se produit avec des formes typiques de dents est significativement réduite. Puisque la palette reste constamment en contact avec la dent et ne décolle pas, la transmission de couple de la roue d'échappement vers l'ancre, et ainsi le rendement de l'échappement, sont améliorés. Même si le document CH702689 mentionne génériquement que les dents de la roue d'échappement peuvent être légèrement courbes, ceci ne correspond pas à la forme spécifique définie ci-dessus. Par ailleurs, et comme mentionné en préambule, la combinaison de la forme des dents ainsi que celle des palettes est particulièrement susceptible à un décollement lors la transition de la dent entre la face de repos et celui d'impulsion, et ne peut donc jamais être conforme à l'équation susmentionnée.

15 **[0020]** Si on applique cette équation à un échappement présentant une géométrie conventionnelle, les faces d'impulsion des dents de la roue d'échappement seront convexes.

20 **[0021]** Avantageusement, ladite valeur *Seuil* est une fonction de la première dérivée du rapport de vitesse de l'ancre sur la roue d'échappement lors de l'impulsion sur le bec de ladite palette. Alternativement, cette valeur peut être définie arbitrairement.

25 **[0022]** Avantageusement, l'échappement selon l'invention comprend chacune des optimisations susmentionnées, c'est-à-dire celle portant sur les faces d'impulsion des palettes, ainsi que celle portant sur la face d'impulsion des dents de la roue d'échappement.

**[0023]** L'invention porte également sur un mouvement d'horlogerie comprenant un échappement comme défini ci-dessus, ainsi que sur une pièce d'horlogerie comprenant un tel mouvement.

### Brève description des dessins

30 **[0024]** L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, d'un mode de réalisation, donné à titre d'exemple et fait en référence aux dessins dans lesquels :

- la figure 1 représente une vue schématique en plan d'un échappement selon l'invention ;
- 35 - la figure 2 représente une vue agrandie d'une dent de la roue d'échappement et de la palette d'entrée ;
- la figure 3 représente une vue agrandie de la palette de sortie ;
- la figure 4 représente une modélisation schématique du point de contact entre l'ancre et la roue d'échappement ;
- la figure 5 représente une vue schématique exagérée du développement de la tangente du profil de la face d'impulsion de la palette d'entrée le long de la phase d'impulsion ;
- 40 - la figure 6 représente une vue schématique exagérée du développement de la tangente du profil de la face d'impulsion de la palette de sortie le long de la phase d'impulsion ;
- la figure 7 représente un graphique du développement de la tangente du profil de la face d'impulsion de la palette d'entrée le long de la phase d'impulsion, en termes d'angle et en termes du temps ;
- la figure 8 représente un graphique du développement de la tangente du profil de la face d'impulsion de la palette de sortie le long de la phase d'impulsion, en termes d'angle et en termes du temps ;
- 45 - la figure 9 représente une vue schématique exagérée du développement de la tangente du profil de la face d'impulsion d'une dent de la roue d'échappement le long de la phase d'impulsion ;
- la figure 10 représente un graphique du développement de la tangente du profil de la face d'impulsion d'une dent de la roue d'échappement le long de la phase d'impulsion ; et
- 50 - la figure 11 représente un graphique du développement du rapport de vitesse de l'ancre sur la roue d'échappement au cours de la phase d'impulsion.

### Mode(s) de réalisation de l'invention

55 **[0025]** La figure 1 illustre un échappement 1 selon l'invention. Cet échappement 1 reprend la forme générale d'un échappement à ancre suisse, dans lequel chaque palette participe à fournir une impulsion à l'organe réglant.

**[0026]** Comme généralement connu, l'échappement comporte une roue d'échappement 3, agencée pour être entraînée par une source motrice non illustrée. Cette source motrice peut être par exemple un ressort moteur ou un moteur

électrique, qui est en liaison cinématique avec la roue d'échappement 3 par l'intermédiaire d'un rouage de finissage (également non illustré).

**[0027]** La roue d'échappement 3 est montée pivotante sur un arbre (non illustré), dont l'axe théorique est indiqué par la signe de référence 5. Dans la variante illustrée, les dents de la roue d'échappement 7 comportent chacune une face amonte 7a, qui interagit avec les palettes lorsque la roue d'échappement 3 est bloquée, et une face d'impulsion. Cependant, l'invention s'applique à d'autres formes de roue d'échappement, par exemple à dents pointues (échappement à ancre anglais), ou à des formes moins conventionnelles.

**[0028]** Les dents 7 de la roue d'échappement 3 interagissent de façon connue avec une ancre 9, qui pivote autour d'un axe de rotation théorique 11. Dans la variante illustrée, cet axe théorique 11 coïncide avec un arbre (non illustré), mais une ancre du type « suspendue » comme décrit dans le document CH708113, ou de n'importe quel autre type approprié est également possible. La ligne joignant l'axe de rotation 5 de la roue d'échappement 3 et celui de l'ancre définit un entraxe 12.

**[0029]** La forme générale de l'ancre 9 illustrée est classique. À cet effet, elle comporte une baguette 9a s'étendant depuis l'axe de rotation 11 et se terminant par une fourchette 9c, qui interagit avec un organe réglant (non illustré) de façon connue afin de lui faire osciller avec une périodicité prédéterminée, ce qui ne doit pas être décrit ici en détail. Par ailleurs, une paire de bras 9b s'étendent de part et d'autre de l'axe de rotation 11 selon des directions substantiellement perpendiculaires à la baguette 9a, et se terminent par des palettes 13, 15. Il va sans dire que d'autres formes d'ancre moins habituelles peuvent également être utilisées dans le cadre de l'invention.

**[0030]** Chacun de ces palettes 13, 15 est agencée pour bloquer et pour libérer périodiquement la roue d'échappement, cette dernière étant bloquée par l'une des palettes 13, 15, puis re-bloquée par l'autre, en séquence.

**[0031]** La palette 13 illustrée à droite sur la figure 1 est la palette d'entrée, située en amont par rapport au sens de rotation de la roue d'échappement 3 indiqué par la flèche, et la palette 15, située en aval, est la palette de sortie.

**[0032]** Dans la variante illustrée, les palettes 13, 15 sont venues d'une pièce avec l'ancre 9, mais l'invention s'applique également à des palettes rapportées sur les bras 9b. Chaque palette 13, 15 comporte, comme généralement connu, une face de repos 13a respectivement 15a, et une face d'impulsion 13b respectivement 15b. Les faces de repos 13a, 15a, servent pour bloquer la roue d'échappement 3 pendant des phases de repos, et les faces d'impulsion 13b, 15b coopèrent avec les dents 7 pour transmettre une impulsion à l'ancre et ainsi à l'organe réglant pendant la phase d'impulsion. Chacune de ces dents 7 comporte un bec de repos 7c, qui interagit avec les faces de repos 13a, 15a des palettes 13, 15, ainsi qu'une face d'impulsion oblique 7b. Le bec de repos 7c qui se trouve entre la face amonte 7a et la face d'impulsion 7b, ainsi que cette face d'impulsion 7b, contribuent à transmettre une impulsion à l'ancre 9.

**[0033]** Dans un échappement typique du genre qui vient d'être défini, les faces de repos 13a, 15a sont typiquement des plans, dont l'angle est choisi de telle sorte que, pendant les phases de repos, la force F résultant du contact entre la face de repos 13a, 15a et la dent 7 comprend une composante qui tend à maintenir la palette 13 ou 15, le cas échéant, engagée avec la roue d'échappement 3. Cette force F engendre par conséquent un couple autour de l'axe de rotation 11 de l'ancre 9 qui tend à faire pivoter l'ancre dans le sens antihoraire (selon l'orientation de la figure 1) lorsque la palette d'entrée 13 est engagée, et dans le sens horaire lorsque la palette de sortie 15 est engagée.

**[0034]** Dans un échappement typique, les faces d'impulsion des palettes 13b, 15b sont typiquement des plans, ce qui entraîne, lors des impulsions, une diminution du couple transmis de la roue d'échappement 3 à l'ancre 9 le long de chaque phase d'impulsion. Cette variation de couple est inefficace, et limite le rendement de l'échappement 1.

**[0035]** L'invention concerne, par conséquent, principalement la forme des faces d'impulsion 13b, 15b des palettes 13, 15, ainsi que celle de la face d'impulsion 7b des dents 7 de la roue d'échappement 3. Puisque les faces actives 13a, 13b, 15a, 15b des palettes ne sont pas, ou au moins ne doivent pas être, planaires, la terminologie de « face » est utilisée au lieu de la formulation habituelle « plan de ... ».

**[0036]** La figure 4 illustre une modélisation schématique qui peut être utilisée pour calculer la forme des faces d'impulsion des palettes. Dans le diagramme qui constitue cette figure, la relation géométrique entre le point de contact C' entre la face d'impulsion 13b de la palette d'entrée et une dent 7 de la roue d'échappement 3, la roue d'échappement 3, et l'entraxe 12 est illustrée.

**[0037]** Pour que la force F qu'exerce la roue d'échappement 3 sur la palette d'entrée 13 engendre un couple qui est constant le long de la phase d'impulsion, l'angle  $\alpha_{\text{orientation}}$  entre la tangente de la face d'impulsion 13b de la palette d'entrée et l'entraxe 12 doit observer la relation suivante, obtenue en résolvant les forces, à chaque point le long de la phase d'impulsion :

$$\alpha_{\text{orientation}} = \alpha - COF + \tan^{-1} \left( \frac{C * R + \cos(\alpha - \theta) * R_2}{R_2 * \sin(\alpha - \theta)} \right)$$

avec

$$R_2 = \sqrt{R^2 * \sin^2(\alpha) + (-R * \cos(\alpha) + L)^2}$$

5 et avec

$$\theta = \tan^{-1} \left( R * \frac{\sin(\alpha)}{L - R * \cos(\alpha)} \right)$$

10

**[0038]** À la relation qui définit  $\alpha_{\text{orientation}}$ , on peut ajouter une tolérance de +/- 10%, de préférence +/- 7%, encore de préférence +/- 5% ou même +/- 3% ou +/- 2% afin de présenter des tolérances de manufacture réalistes.

**[0039]** Dans ces équations, tous les angles s'expriment en radians.  $\alpha$  est l'angle entre une ligne joignant ledit point de contact et l'axe de rotation de ladite roue d'échappement 3, et ledit entraxe 12, défini mathématiquement. Cet angle décroît donc le long de la phase d'impulsion sur la palette d'entrée 13 puisque le point de contact C' se rapproche de l'entraxe 12 lorsque la roue d'échappement 3 tourne. COF est la tangente trigonométrique (en radians) du coefficient de frottement entre la roue d'échappement et ladite face d'impulsion, c'est-à-dire  $\tan(\mu)$  selon la notation conventionnelle ; R est la distance entre l'axe de rotation de ladite roue d'échappement et ledit point de contact, avec une tolérance de +/- 10%, de préférence +/- 7%, encore de préférence +/- 5% ou même +/- 3% ou +/- 2% afin de présenter des tolérances de manufacture réalistes; C est le rapport de couple entre celui de l'ancre par rapport à celui de la roue d'échappement, c'est-à-dire  $C_{\text{ancre}}/C_{\text{roue}}$  ; et L est la longueur dudit entraxe 12.

**[0040]** Il faut noter que, au vu de la tolérance sur la valeur de R ainsi que celle sur  $\alpha_{\text{orientation}}$ , l'invention englobe une famille de courbes possibles. Ceci est inévitable au vu des tolérances de manufacture, puisqu'il est très difficile de fabriquer, de manière reproductible, une courbe qui soit mathématiquement parfaite.

**[0041]** Pour la palette de sortie 15, la même relation est également valable, car la géométrie est similaire, le point de contact C' se situant bien entendu sur l'autre côté de l'entraxe 12.

**[0042]** La figure 5 illustre, de façon exagérée, le développement de  $\alpha_{\text{orientation}}$  de la face d'impulsion 13b de la palette d'entrée 13 le long de sa phase d'impulsion. Il est clair que, lorsque la roue d'échappement 3 tourne et le point de contact C' évolue selon un arc de cercle, que l'angle  $\alpha_{\text{orientation}}$  croît lorsque  $\alpha$  décroît pour les raisons expliquées ci-dessus. La figure 7 illustre cette croissance en fonction de l'angle  $\alpha(t)$  du point de contact C' au cours du temps, et les valeurs de l'angle  $\alpha_{\text{orientation}}$  ainsi calculées à une pluralité de points peuvent être utilisées pour définir des tangentes qui peuvent être combinées d'une manière lissée afin de définir la forme de la face d'impulsion 13b de la palette d'entrée 13, sur au moins une partie de sa longueur. Cette partie peut s'étendre sur par exemple au moins 20%, au moins 40%, au moins 50%, au moins 60% ou même au moins 80% ou 90% de la longueur de ladite face d'impulsion 13b. D'après ces figures, il est clair que ladite face d'impulsion 13 sera convexe.

**[0043]** De la même façon, la figure 6 illustre, également de façon exagérée, le développement de  $\alpha_{\text{orientation}}$  de la face d'impulsion 15b de la palette de sortie 15 le long de sa phase d'impulsion. Il est clair que, lorsque la roue d'échappement 3 tourne et le point de contact C' évolue selon un arc de cercle, que l'angle  $\alpha_{\text{orientation}}$  décroît. La figure 8 illustre cette décroissance en fonction de l'angle  $\alpha$  du point de contact C' ; en effet au cours du mouvement a s'éloigne de l'entraxe or  $\alpha$  est strictement négatif au sens trigonométrique, donc  $\alpha(t)$  décroît au cours du mouvement. À nouveau, les angles  $\alpha_{\text{orientation}}$  ainsi calculés peuvent être utilisés pour définir des tangentes qui peuvent être combinées afin de définir la forme de la face d'impulsion 15b de la palette de sortie 15, sur au moins une partie de sa longueur. Cette partie peut s'étendre sur par exemple au moins 20%, au moins 40%, au moins 50%, au moins 60% ou même au moins 80% ou 90% de la longueur de ladite face d'impulsion 15b. Dans le cas de la palette de sortie 15, l'angle  $\alpha$  croît pendant la phase d'impulsion correspondante, puisque le point de contact C' s'éloigne de l'entraxe 12. D'après ces figures, il est clair que ladite face d'impulsion 15 sera concave.

**[0044]** Par le biais de ce qui précède, les formes des plans d'impulsion 13b, 15b, des palettes peuvent être déterminées pour un échappement présentant une géométrie donnée, et ce en tenant compte de la forme des faces d'impulsion 7b des dents 7 de la roue d'échappement 3, ce qui détermine le développement de la position du point de contact avec les palettes 13, 15 le long des phases d'impulsion.

**[0045]** Même si les formes des palettes 13, 15 comme déterminées ci-dessus peuvent être utilisées en lien avec une roue d'échappement de forme connue, il est avantageux d'adapter la forme des faces d'impulsion 7b de telle sorte qu'un décollement de la palette de la roue d'échappement est évité.

**[0046]** En effet, dans le cas d'un échappement conventionnel, lorsque la dent 7 de la roue d'échappement 3 effectue la transition depuis la face de repos 13a, 15a d'une palette à sa face d'impulsion 13b, 15b (connu sous le nom « impulsion sur la palette » puisque la dent 7 interagit avec la face d'impulsion 13b, 15b de la palette), il y a une accélération de la roue d'échappement 3 et de l'ancre 9. Par ailleurs, pendant la dernière partie de la phase d'impulsion, lorsque la dent interagit avec le bec aval 13c, 15c de la palette 13, 15 (connu sous le nom « impulsion sur la dent », puisque c'est le

bec aval 13c, 15c de la palette qui interagit avec la dent 7), une deuxième accélération encore plus forte est créée. Si ces accélérations sont trop importantes, la palette 13, 15 peut décoller de la roue d'échappement 3, ce qui a pour effet que le contact entre ces deux éléments est rompu.

**[0047]** En partant du même modèle illustré dans la figure 4, on peut déterminer le profil de la face d'impulsion 7b des dents 7 de la roue d'échappement qui évite un tel décollement lors de la transition de la face d'impulsion 7b au bec aval 7d.

**[0048]** D'après la géométrie du contact entre la roue d'échappement 3 et la face d'impulsion 13b, 15b de l'une des palettes, on peut calculer un rapport de couple C entre le couple de l'ancre et le couple de la roue d'échappement en fonction de l'angle  $\alpha$  comme suit :

$$C(\alpha) = -\frac{R_2}{R} * \frac{\cos(\alpha_{orientation} - \theta + COF)}{\cos(\alpha_{orientation} - \alpha + COF)}$$

**[0049]** Dans ce cas,  $\alpha_{orientation}$  représente l'angle formé entre la tangente de la face d'impulsion 7b de la dent 7 au point de contact C' et l'entraxe 12, les autres variables étant comme décrit ci-dessus dans le contexte du profil des faces d'impulsion 13b, 15b des palettes 13, 15. Pour éviter un décollement, il faut que la valeur C soit inférieure à une valeur seuil prédéfini (voir ci-dessous).

**[0050]** Pendant la phase d'impulsion sur la dent, c'est-à-dire lorsque le bec aval 13c, 15c est en contact avec la face d'impulsion 7b d'une dent 7 de la roue d'échappement 3,

$$C(\alpha) \leq Seuil * \alpha + C$$

**[0051]** où C est le rapport de couple à ce changement de bec et *Seuil* est une valeur d'un seuil de décollement calculé par expérimentation ou par modélisation, ou même défini arbitrairement. Plus concrètement, on peut par exemple définir un dérivé limite du rapport de vitesse de l'ancre 9 sur la roue 3, par modélisation. Le paramètre *Seuil* est tellement influencé par la géométrie de l'échappement, mais des modélisations ont indiqués qu'une valeur d'au maximum 0.01, de préférence au maximum 0.005 sont généralement applicables, ou peut servir en tout cas comme points de départ.

**[0052]** Par conséquent,

$$Seuil * \alpha + C = -\frac{R_2}{R} * \frac{\cos(\alpha_{orientation} - \theta + COF)}{\cos(\alpha_{orientation} - \alpha + COF)}$$

et

$$\alpha_{orientation} = \tan^{-1} \left( \frac{R * Seuil * \alpha * \cos(\alpha) + C * R * \cos(\alpha) + R * \cos(\alpha) - L}{R * \sin(\alpha) * (Seuil * \alpha + C - 1)} \right)$$

**[0053]** À cette relation, on peut ajouter une tolérance de +/- 10%, de préférence +/- 7%, encore de préférence +/- 5% ou même +/- 3% ou +/- 2% à la valeur de  $\alpha_{orientation}$ , afin de présenter des tolérances de manufacture réalistes. Il faut noter que, au vu de la tolérance sur la valeur de R ainsi que celle sur  $\alpha_{orientation}$ , l'invention englobe une famille de courbes possibles. Ceci est inévitable au vu des tolérances de manufacture, puisqu'il est très difficile de fabriquer, de manière reproductible, une courbe qui soit mathématiquement parfaite.

**[0054]** Par conséquent, lorsque  $\alpha$  croît le long de la phase d'impulsion,  $\alpha_{orientation}$  croît également, de façon approximativement linéaire. Ainsi, le profil de la face d'impulsion 7b des dents 7 est convexe, comme illustré sous forme exagéré sur la figure 9. Le développement de  $\alpha_{orientation}$  en fonction de l'angle  $\alpha$  est également illustré sur la figure 10.

**[0055]** À nouveau, comme c'est le cas pour les palettes 13, 15, l'angle  $\alpha_{orientation}$  peut être calculé en plusieurs points, afin de déterminer le profil de ladite face d'impulsion 7b de la façon mentionnée ci-dessus.

**[0056]** La figure 11 est un graphique normalisé illustrant une comparaison du rapport de vitesse de l'ancre 9 sur la roue d'échappement 3 sur un dégagement et une impulsion, pour un échappement conventionnel (« Rv Profils standards ») et un échappement selon l'invention (« Rv Profils courbes »). Ce graphique illustre à la fois l'effet de la forme des faces d'impulsion 13b, 15b qui assure une transmission de couple constant pendant la phase d'impulsion sur la face d'impulsion 7b d'une dent 7, ainsi que l'effet du profil courbé des dents 7 de la roue d'échappement.

**[0057]** En ce qui concerne la transmission de couple constant, en regardant la partie du graphique indiquée par « impulsion sur la palette », pour l'échappement conventionnel, le rapport de vitesse « Rv Profils standards » décroît le long de cette phase, pour les raisons évoquées ci-dessus. Par contre, pour l'échappement selon l'invention, le rapport

de vitesse « Rv Profils courbes » reste constant, puisque le rapport de couple reste constant. Il est également clair de ce graphique que l'intégrale de la fonction « Rv Profils courbes » pendant la phase d'impulsion sur la face est supérieure à celle de « Rv Profils standards », et que par conséquent plus d'énergie est fournie à l'ancre pendant cette phase de l'impulsion. En effet, la valeur *Seuil* susmentionnée peut être déterminée en considérant la pente voulue pour la ligne « Rv Profils courbes » pendant l'impulsion sur la dent, ce qui représente la première dérivée du rapport de vitesse angulaire.

[0058] Ce graphique illustre également l'effet du profil courbé de la face d'impulsion 7b des dents 7 de la roue d'échappement 3. Puisque cette face 7b est courbée, la pente de la courbe du rapport de vitesse présente une pente significativement inférieure à celle qui se présente dans le cas classique « Rv Profils standards ». Un décollement peut ainsi être évité.

[0059] Dans le cas où la forme des plans d'impulsion 7b des dents 7 de la roue d'échappement 3 est droite, la courbe correspondante suivra celle du « Rv Profils courbes » jusqu'à l'intersection avec la ligne verticale ayant la valeur normalisée 800, et puis sera confondue avec celle de « Rv Profils standards » jusqu'à la fin de la phase d'impulsion.

[0060] Bien que ce profil des faces d'impulsion 7b des dents 7 de la roue d'échappement 3 soit illustré ici en combinaison avec les formes optimisées des palettes 13, 15, il peut néanmoins être utilisé avec des palettes connues, par exemple des palettes présentant des plans standards.

[0061] Des calculs ont montré que la forme des faces d'impulsion 13b, 15b des palettes 13, 15 augmente le rendement d'environ 2 à 3 points, et la forme de la face d'impulsion 7b des dents 7 de la roue d'échappement l'augmente d'environ 2 à 3 points supplémentaires. La combinaison des deux optimisations ajoute par conséquent environ 4 à 6 points de rendement à l'échappement.

[0062] L'ancre 9 et/ou la roue d'échappement 3 décrits ci-dessus peuvent, par exemple, être fabriquées par des procédés de micro-usinage, tel que le LIGA, l'imprimerie 3D, le masquage et gravure à partir d'une plaque de matériau, de la stéréolithographie, ou similaire. Des matériaux appropriés peuvent, par exemple, être choisis parmi les métaux monocristallins, polycristallins ou amorphes (tels que l'acier, le nickel-phosphore, le laiton ou similaire), des non-métaux tels que le silicium, son oxyde, son nitrure ou sa carbure, l'alumine sous toutes ses formes, le diamant (y compris le carbone adamantin), ces matériaux non-métalliques étant monocristallins ou polycristallins. Tous ces matériaux peuvent éventuellement être revêtus d'un autre matériau dur et/ou anti-frottements, tel que le carbone adamantin ou l'oxyde de silicium.

[0063] L'utilisation de ces profils courbes entraîne une amélioration du rendement de l'échappement 1 de l'ordre de 5% si les profils sont adoptés sur les palettes 13, 15 et sur la roue d'échappement 3.

[0064] Bien que l'invention ait été décrite ci-dessus en lien avec des modes de réalisation spécifiques, des variantes supplémentaires sont également envisageables sans sortir de la portée de l'invention comme définie par les revendications.

## Revendications

### 1. Échappement (1) pour pièce d'horlogerie, comprenant :

- une roue d'échappement (3) montée pivotante autour d'un axe de rotation correspondant (5) et destinée à être entraînée par une source motrice, ladite roue d'échappement (3) comportant une pluralité de dents (7) ;
- une ancre (9) montée pivotante autour d'un axe de rotation correspondant (11), ladite ancre (9) comprenant une palette d'entrée (13) et une palette de sortie (15), chaque palette (13, 15) comprenant une face de repos (13a, 15a) agencée pour bloquer ladite roue d'échappement (3), ainsi qu'une face d'impulsion (13b, 15b) agencée pour interagir avec ladite roue d'échappement (3) afin de transmettre des impulsions reçues de cette dernière à un organe réglant agencé pour effectuer des oscillations, ladite ancre (9) étant agencée pour libérer ladite roue d'échappement (3) périodiquement sous la commande dudit organe réglant, **caractérisé en ce qu'au moins l'une desdites faces d'impulsion (13b, 15b) est conformée de telle sorte que, sur au moins une partie de ladite face d'impulsion (13b, 15b), et considéré à chaque point de contact (C') entre la roue d'échappement (3) et ladite face d'impulsion (13b, 15b), la tangente de ladite face d'impulsion (13b, 15b) intersecte l'entraxe (12) entre la roue d'échappement (3) et l'ancre (9) selon un angle ( $\alpha_{\text{orientation}}$ ) qui observe la relation :**

$$\alpha_{\text{orientation}} = \alpha - COF + \tan^{-1} \left( \frac{C * R + \cos(\alpha - \theta) * R_2}{R_2 * \sin(\alpha - \theta)} \right) \quad +/- 10\%$$

avec



$$R_2 = \sqrt{R^2 * \sin^2(\alpha) + (-R * \cos(\alpha) + L)^2}$$

et avec

$$\theta = \tan^{-1} \left( R * \frac{\sin(\alpha)}{L - R * \cos(\alpha)} \right)$$

dans laquelle tous des angles s'expriment en radians, et

- $\alpha_{\text{orientation}}$  est l'angle entre ladite tangente avec ledit entraxe (12) ;
- $\alpha$  est l'angle entre une ligne joignant ledit point de contact (C') et l'axe de rotation (5) de ladite roue d'échappement et ledit entraxe (12) ;
- COF est la tangente trigonométrique du coefficient de frottement entre la roue d'échappement (3) et ladite face d'impulsion (13b, 15b) ;
- R est la distance entre l'axe de rotation (5) de ladite roue d'échappement (3) et ledit point de contact (C'), +/- 10% ;
- C est le rapport de couple entre celui de l'ancre (9) et celui de la roue d'échappement (3) ;
- L est la longueur dudit entraxe (12).

2. Échappement (1) selon la revendication 1, dans lequel la face d'impulsion (13b) de la palette d'entrée (13) est convexe.

3. Échappement (1) selon l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel la face d'impulsion (15b) de la palette de sortie (15) est concave.

4. Échappement (1) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la forme d'au moins une partie de chacune desdites faces d'impulsion (13b, 15b) observe ladite relation.

5. Échappement (1) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la roue d'échappement (3) comporte des dents (7) ayant des faces d'impulsion (7b) convexes.

6. Échappement (1) pour pièce d'horlogerie, comprenant :

- une roue d'échappement (3) montée pivotante autour d'un axe de rotation correspondant (5) et destinée à être entraînée par une source motrice, ladite roue d'échappement (3) comportant une pluralité de dents (7) ;
- une ancre (9) montée pivotante autour d'un axe de rotation correspondant (11), ladite ancre (9) comprenant une palette d'entrée (13) et une palette de sortie (15), chaque palette (13, 15) comprenant une face de repos (13a, 15a) agencée pour bloquer ladite roue d'échappement (3), ainsi qu'une face d'impulsion (13b, 15b) agencée pour interagir avec ladite roue d'échappement (3) afin de transmettre des impulsions reçues de cette dernière à un organe réglant agencé pour effectuer des oscillations, ladite ancre (9) étant agencée pour libérer ladite roue d'échappement (3) périodiquement sous la commande dudit organe réglant, **caractérisé en ce que**, sur au moins une partie d'une face d'impulsion (7b) que comporte chacune desdites dents (7), et considéré à chaque point de contact (C') entre ladite face d'impulsion (7b) et une desdites palettes (13, 15), la tangente de ladite face d'impulsion (7b) intersecte l'entraxe (12) entre la roue d'échappement (3) et l'ancre (9) selon un angle ( $\alpha_{\text{orientation}}$ ) qui observe la relation

$$\alpha_{\text{orientation}} = \tan^{-1} \left( \frac{R * \text{Seuil} * \alpha * \cos(\alpha) + C * R * \cos(\alpha) + R * \cos(\alpha) - L}{R * \sin(\alpha) * (\text{Seuil} * \alpha + C - 1)} \right) \pm 10\%$$

dans lequel

- $\alpha_{\text{orientation}}$  est l'angle entre ladite tangente et ledit entraxe (12) ;
- $\alpha$  est l'angle entre une ligne joignant ledit point de contact (C') et l'axe de rotation (5) de ladite roue d'échappement (3) et ledit entraxe (12) ;
- Seuil est une valeur d'un seuil de décollement entre la roue d'échappement (3) et l'ancre (9) ;
- R est la distance entre l'axe de rotation (5) de ladite roue d'échappement (3) et ledit point de contact (C'), +/-

10% ;

- C est le rapport de couple entre celui de l'ancre (9) et celui de la roue d'échappement (3) ;

- L est la longueur dudit entraxe (12).

- 5      7. Échappement (1) selon la revendication précédente, dans lequel la roue d'échappement (3) comporte des dents (7) ayant des faces d'impulsion (7b) convexes.
- 10      8. Échappement (1) selon l'une des revendications 6 et 7, dans lequel ladite valeur *Seuil* est une fonction de la première dérivée du rapport de vitesse de l'ancre (9) sur la roue d'échappement (3) lors de l'impulsion sur le bec de ladite palette (13, 15).
- 15      9. Échappement (1) selon l'une des revendications 1 à 4 et selon l'une des revendications 6 à 8.
- 15      10. Mouvement d'horlogerie comprenant un échappement (1) selon l'une des revendications précédentes.
- 15      11. Pièce d'horlogerie comprenant un mouvement selon la revendication 10.

20

25

30

35

40

45

50

55

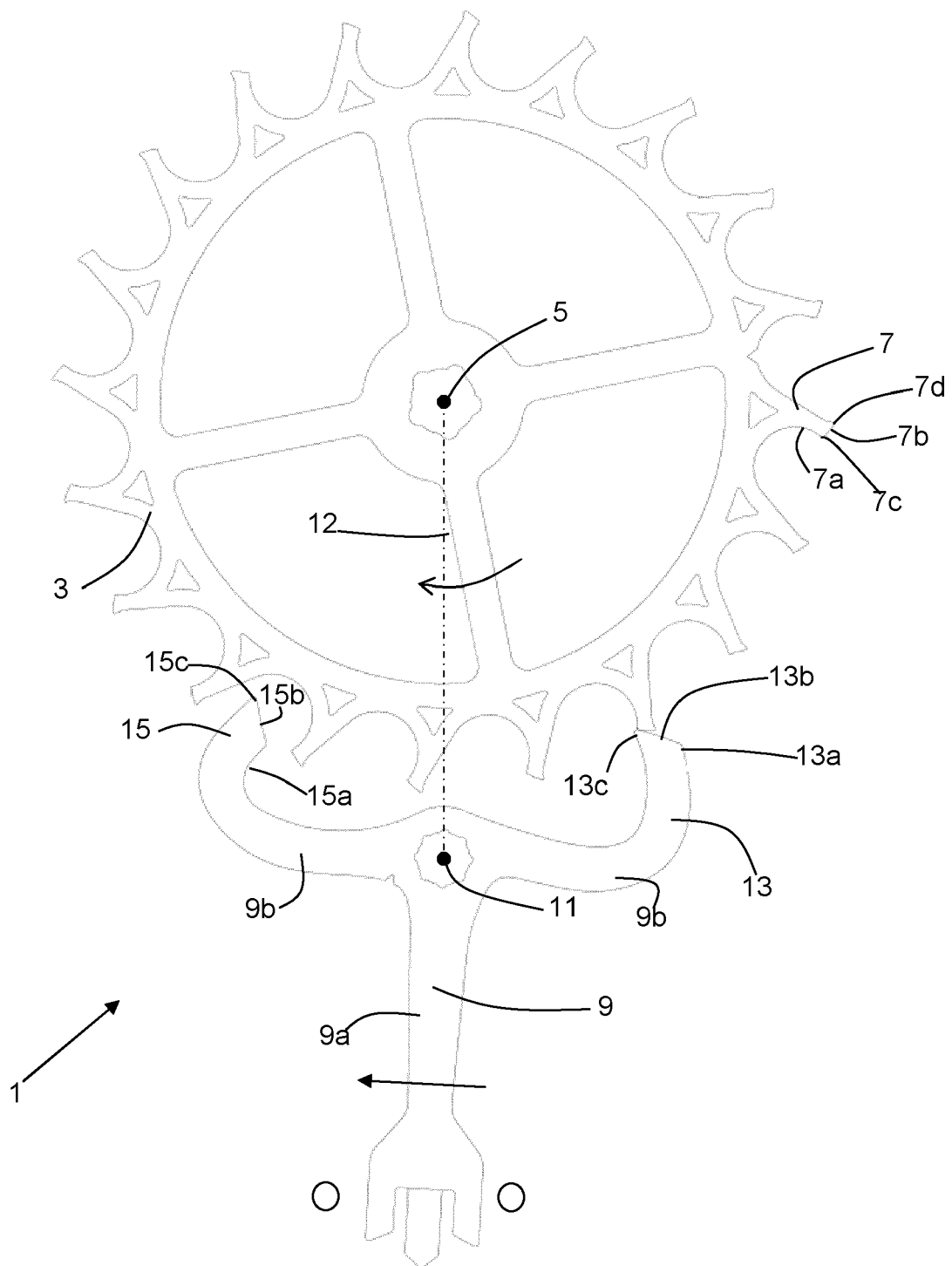


Figure 1

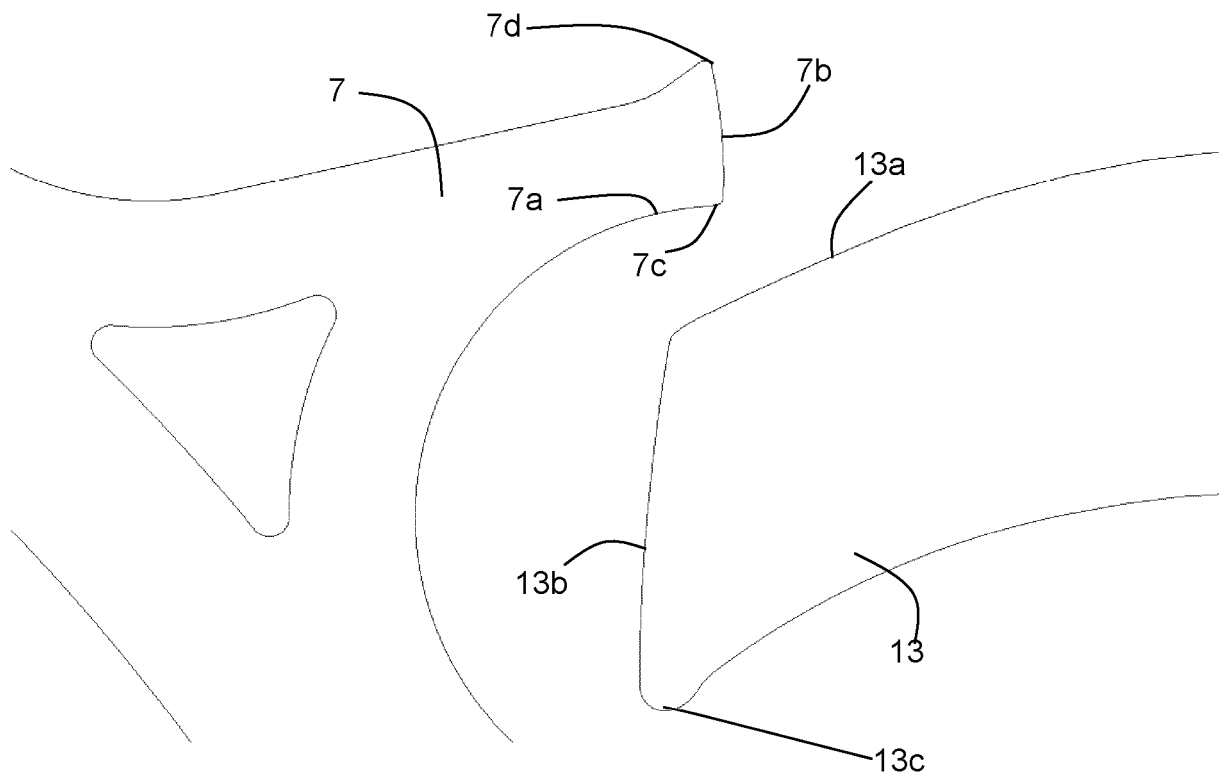


Figure 2

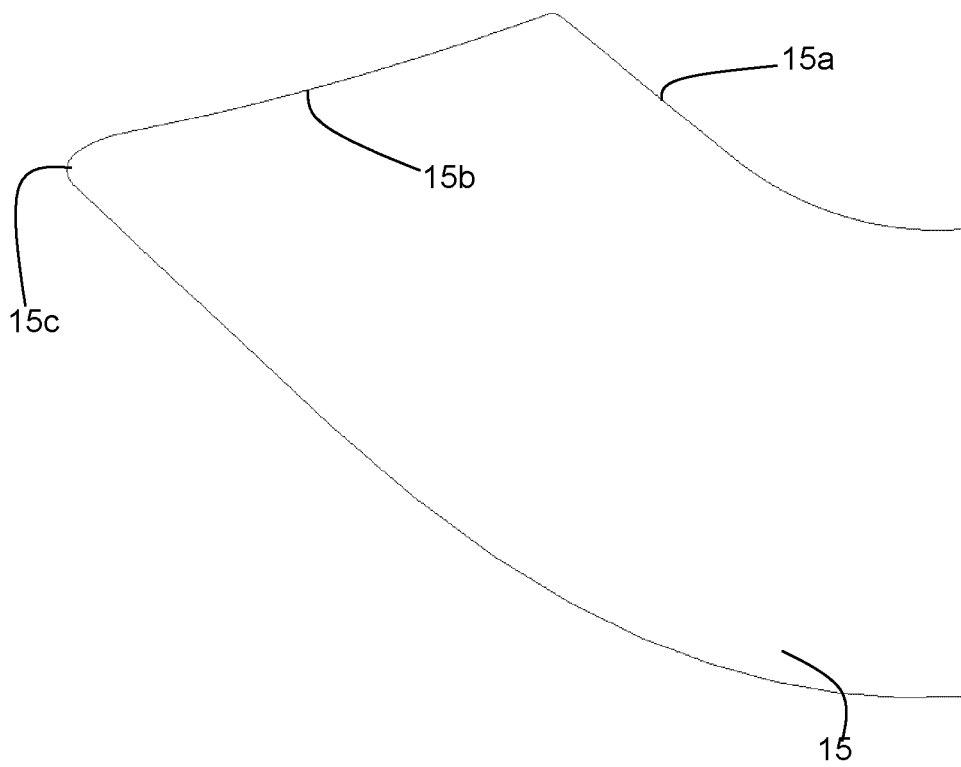


Figure 3

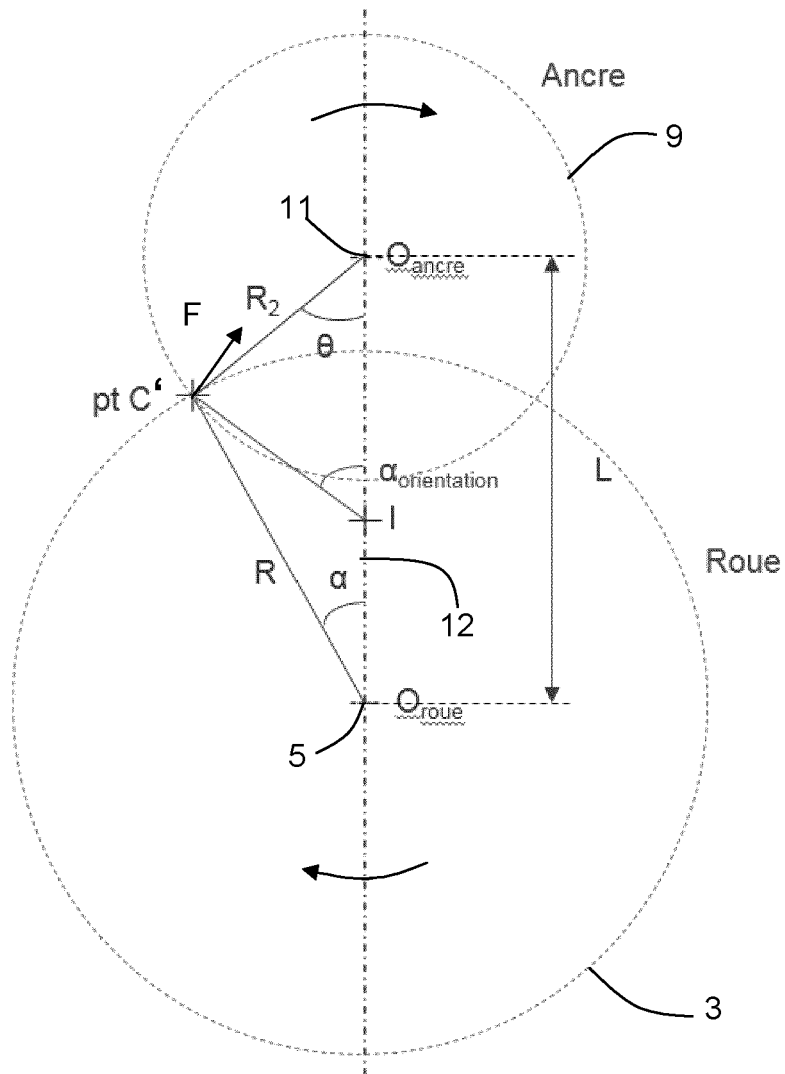


Figure 4

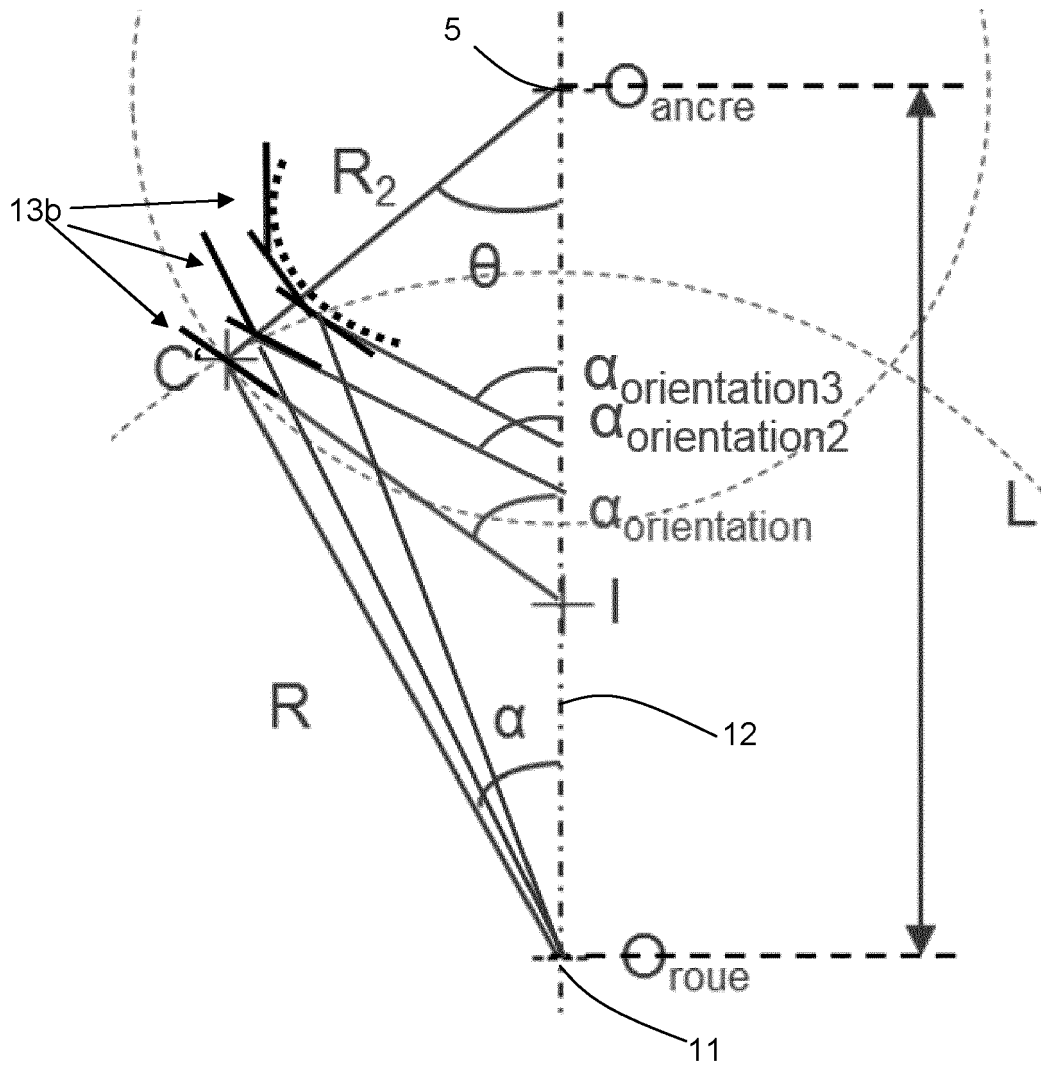


Figure 5

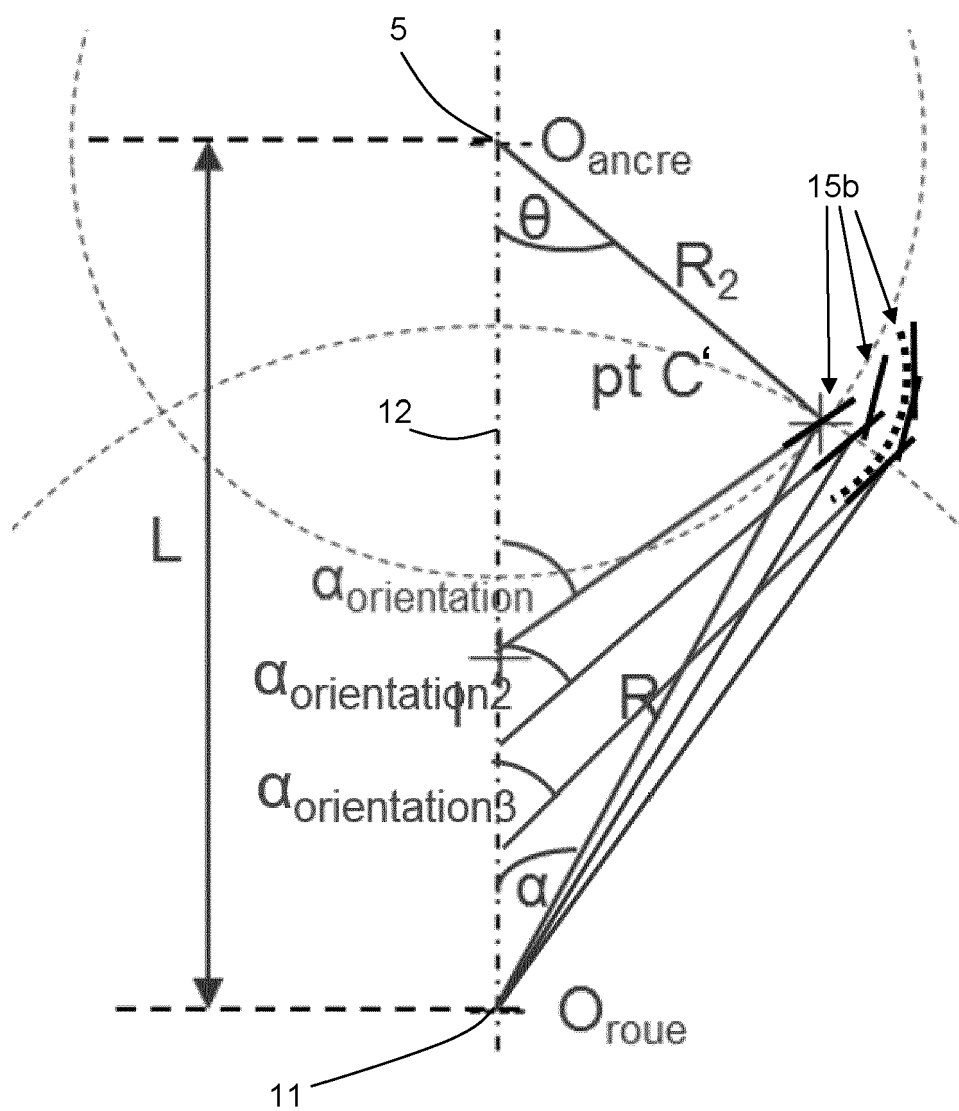


Figure 6

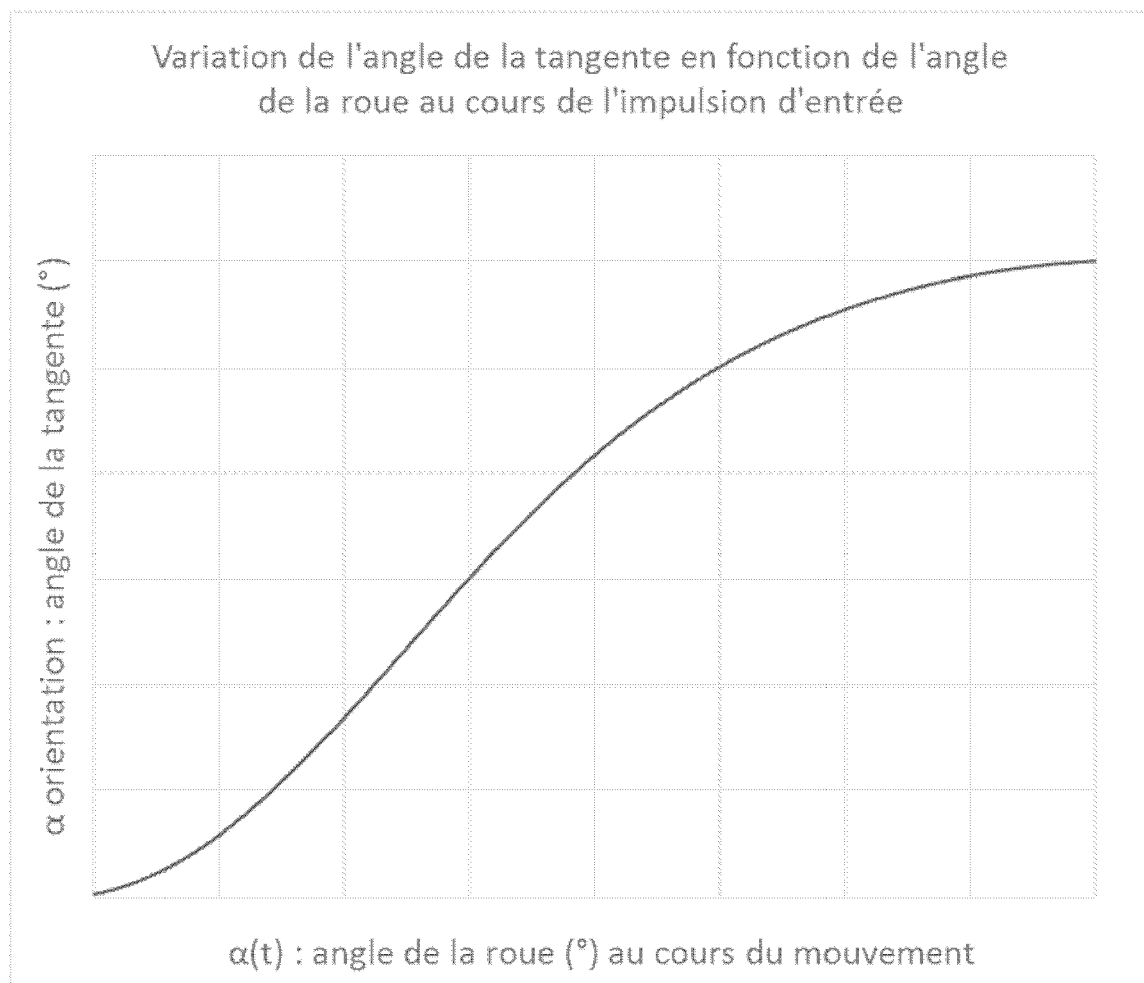
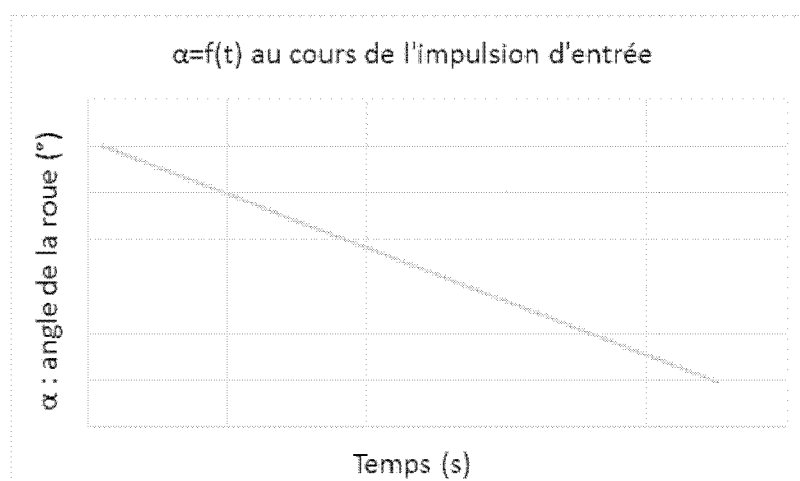


Figure 7





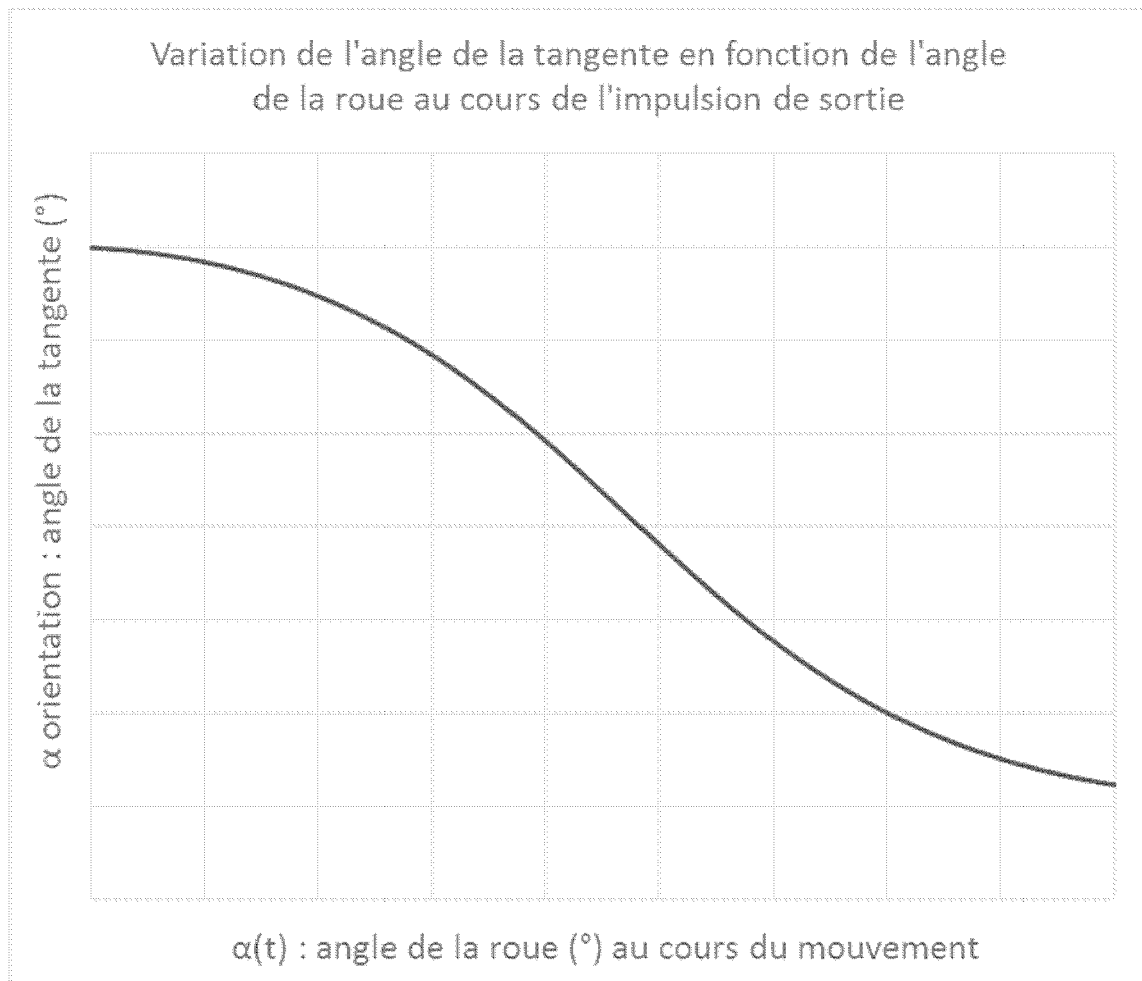
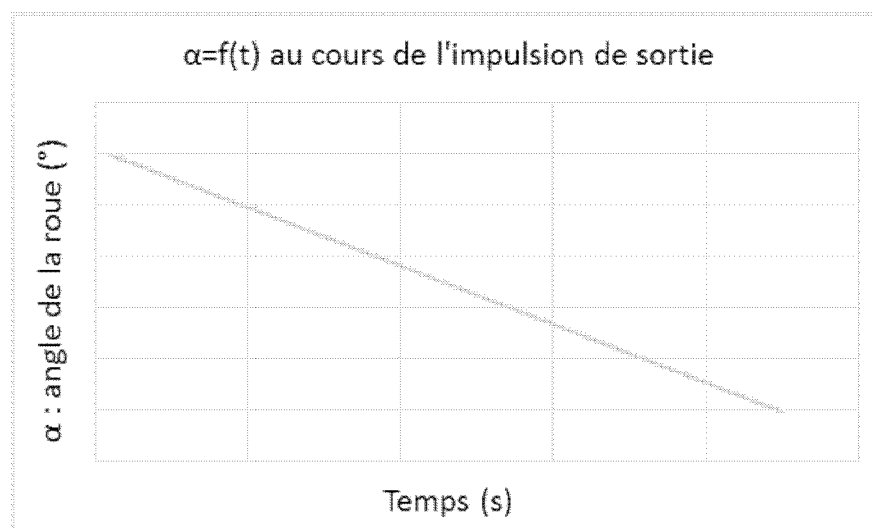


Figure 8



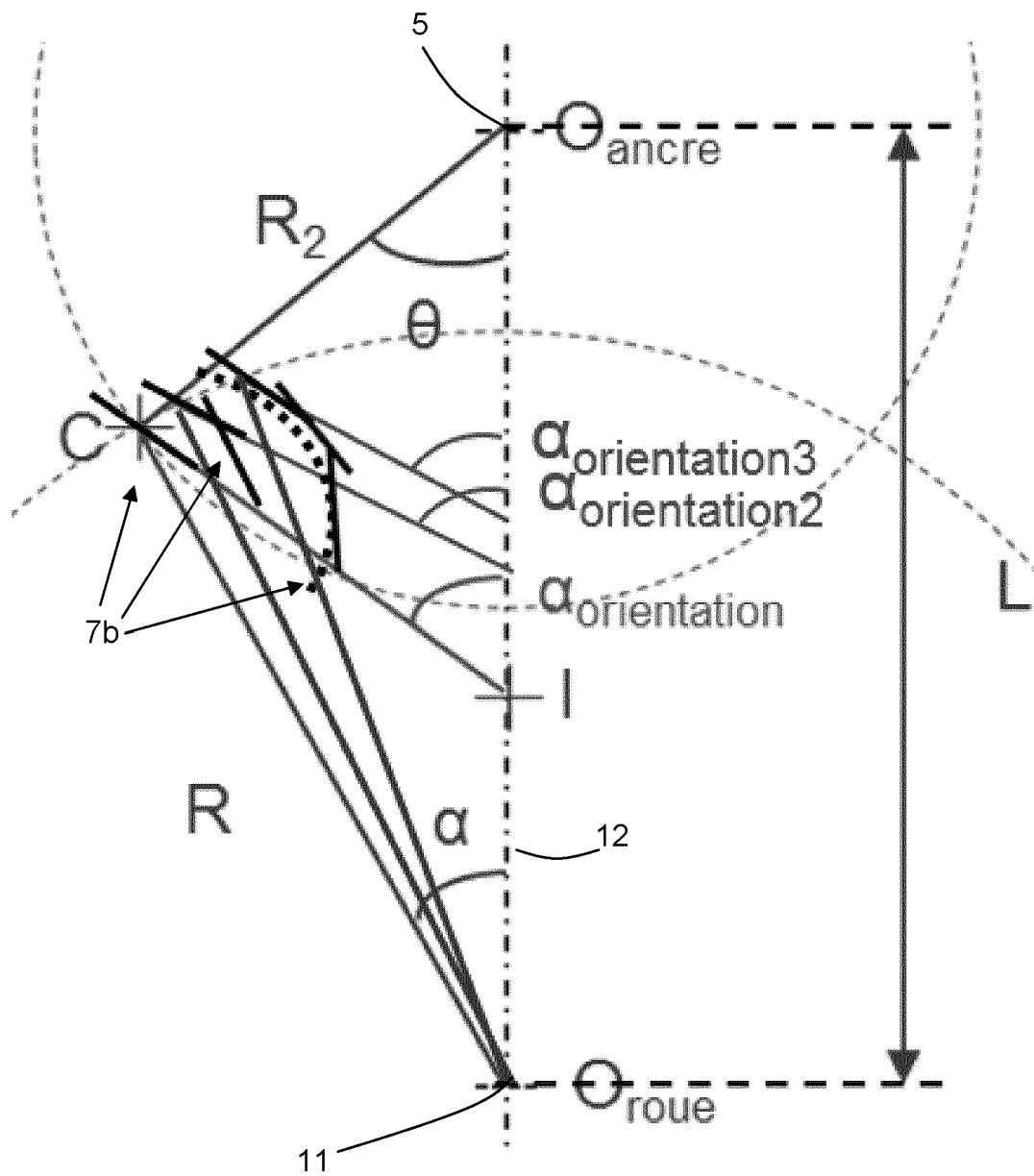


Figure 9

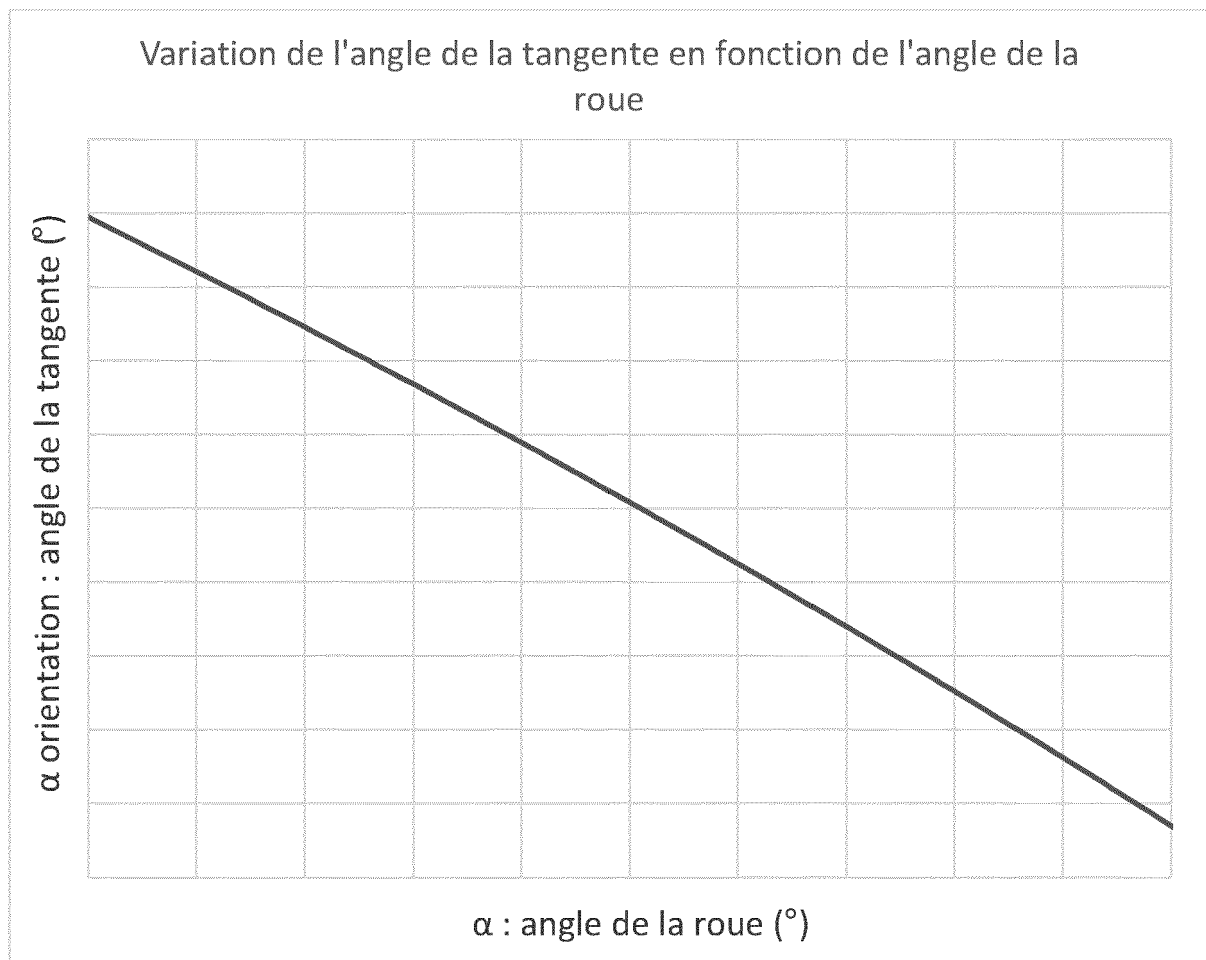


Figure 10

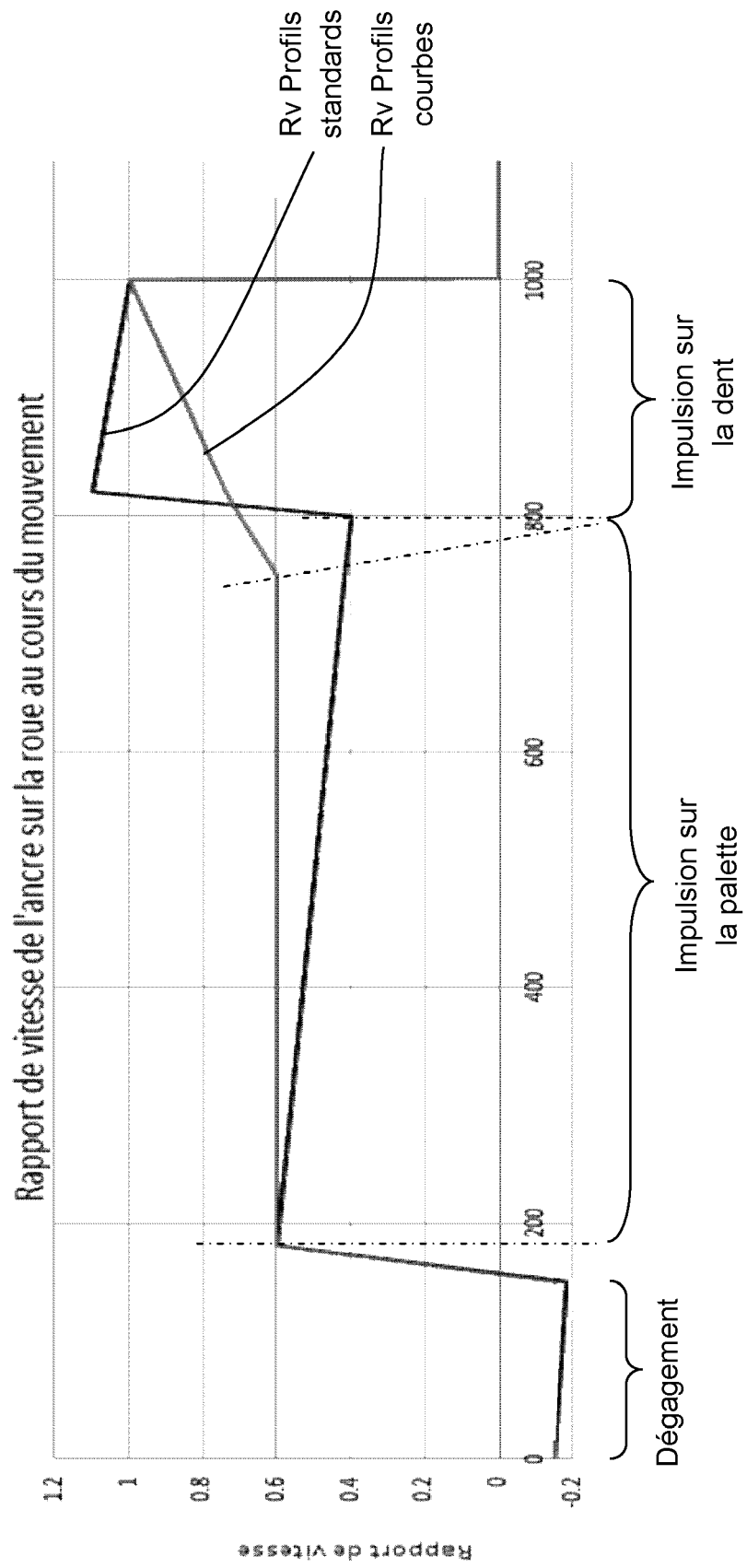


Figure 11



## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 21 16 9122

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)
X	CH 702 689 B1 (PATEK PHILIPPE SA GENEVE [CH]) 31 août 2011 (2011-08-31) * abrégé * * alinéas [0006], [0007], [0013] - [0021]; figures 1,2 *	1-11	INV. G04B15/14 G04B15/08
A	EP 2 431 823 A1 (BLANCPAIN SA [CH]) 21 mars 2012 (2012-03-21) * abrégé; figure 2 *	1-11	
A	US 3 628 327 A (ABE KENJI) 21 décembre 1971 (1971-12-21) * abrégé; figures 1-6 *	1-11	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			G04B
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>6 juillet 2021</b>	Examineur <b>Sigrist, Marion</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 16 9122

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.

06-07-2021

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
CH 702689	B1	31-08-2011	AUCUN
EP 2431823	A1	21-03-2012	CH 705814 B1 30-09-2015 EP 2431823 A1 21-03-2012 WO 2012034810 A2 22-03-2012
US 3628327	A	21-12-1971	AUCUN

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**

- CH 702689 [0006] [0012] [0019]
- CH 708113 [0028]