



(11) **EP 3 266 737 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
10.01.2018 Bulletin 2018/02

(51) Int Cl.:
B81B 3/00 (2006.01) G04B 31/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **16178012.7**

(22) Date de dépôt: **05.07.2016**

(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:
MA MD

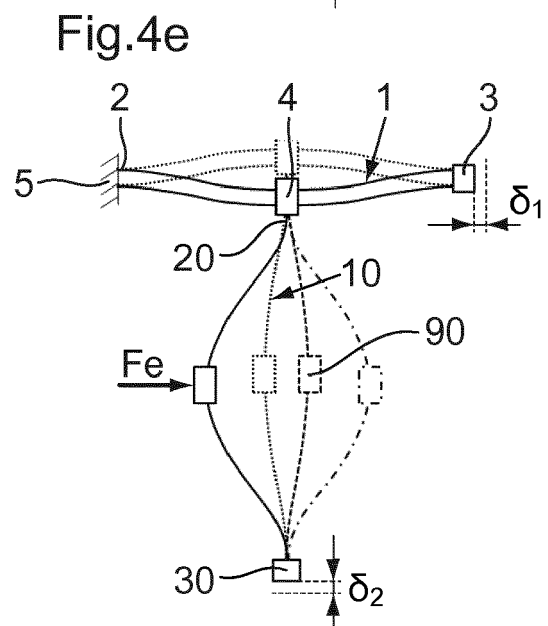
(72) Inventeurs:
• **ZANATY, Mohamed**
2000 Neuchâtel (CH)
• **HENEIN, Simon**
2000 Neuchâtel (CH)

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

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

(54) **SYSTEME MULTISTABLE PROGRAMMABLE**

(57) Système multistable comprenant un premier organe élastique (1) de rang $r=1$ comprenant des première (2) et deuxième (3) extrémités et une zone de liaison (4) entre les première (2) et deuxième (3) extrémités, et (n-1) autres organes élastiques (10, 100) de rang r comprenant chacun des première (20, 200) et deuxième (30, 300) extrémités, avec r compris entre 2 et n, n étant un nombre entier supérieur ou égal à 2, chacun desdits autres organes élastiques de rang r avec r compris entre 2 et (n-1) comprenant une zone de liaison (40) entre ses première et deuxième extrémités, chacun desdits autres organes élastiques de rang r avec r compris entre 2 et n étant joint par sa première extrémité à la zone de liaison de l'organe élastique de rang (r-1). La position d'au moins une des première (2) et deuxième (3) extrémités du premier organe élastique (1) ou la force appliquée à au moins une des première (2) et deuxième (3) extrémités du premier organe élastique (1), et/ou la position de la deuxième extrémité d'au moins un desdits (n-1) autres organes élastiques (10, 100) ou la force appliquée à la deuxième extrémité d'au moins un desdits (n-1) autres organes élastiques (10, 100), est réglable de façon à définir, pour le système multistable, au moins deux configurations multistables ayant des nombres d'états stables différents.



EP 3 266 737 A1

Description

[0001] La présente invention concerne un système multistable.

[0002] Un système est considéré comme stable s'il est capable de se maintenir dans son état lorsqu'il est soumis à une perturbation extérieure. Un système multistable est un système présentant plusieurs états stables différents.

[0003] Des systèmes multistables sont décrits dans la littérature. Un point commun de ces différents systèmes multistables est qu'ils possèdent un nombre de positions stables spécifique et prédéterminé, qui ne peut pas être modifié après la fabrication. Il serait pourtant intéressant de pouvoir modifier et adapter le nombre de positions stables d'un système multistable aux besoins de l'utilisateur.

[0004] Un but de la présente invention est de fournir un système multistable dont le nombre d'états stables atteignable est réglable. L'invention propose à cette fin un système multistable caractérisé en ce qu'il comprend :

- un premier organe élastique de rang $r=1$ comprenant des première et deuxième extrémités et une zone de liaison entre lesdites première et deuxième extrémités, et
- $(n-1)$ autres organes élastiques de rang r comprenant chacun des première et deuxième extrémités, avec r compris entre 2 et n , n étant un nombre entier supérieur ou égal à 2, chacun desdits autres organes élastiques de rang r avec r compris entre 2 et $(n-1)$ comprenant une zone de liaison entre ses première et deuxième extrémités, chacun desdits autres organes élastiques de rang r avec r compris entre 2 et n étant joint par sa première extrémité à la zone de liaison de l'organe élastique de rang $(r-1)$;

la position d'au moins une desdites première et deuxième extrémités du premier organe élastique ou la force appliquée à au moins une desdites première et deuxième extrémités du premier organe élastique, et/ou la position de la deuxième extrémité d'au moins un desdits $(n-1)$ autres organes élastiques ou la force appliquée à la deuxième extrémité d'au moins un desdits $(n-1)$ autres organes élastiques, étant réglable de façon à définir, pour le système multistable, au moins deux configurations multistables ayant des nombres d'états stables différents. De préférence, $n=2$ ou $n=3$.

[0005] De préférence, la position de la deuxième extrémité ou la force appliquée à la deuxième extrémité de chacun des n organes élastiques est réglable.

[0006] Avantageusement, chacune des extrémités non jointes à une zone de liaison et dont ni la position ni la force qui lui est appliquée ne sont réglables est jointe à un châssis portant ledit système multistable.

[0007] Dans un mode de réalisation préféré, chacune desdites zones de liaison est située au milieu de l'organe élastique qui la porte.

[0008] De préférence, la ou chacune des extrémité(s) réglable(s) des organes élastiques de rang r , avec r compris entre 1 et n , est apte à se déplacer en translation selon un axe A_r .

5 **[0009]** Les axes A_r définis ci-dessus sont typiquement dans un même plan.

[0010] Avantageusement, les zones de liaison sont mobiles en translation. La zone de liaison d'un organe de liaison de rang r , avec r compris entre 1 et $(n-1)$ peut typiquement se déplacer en translation selon un axe perpendiculaire à l'axe A_r .

10 **[0011]** De manière préférée, chaque axe A_r , avec r compris entre 2 et n , est perpendiculaire à l'axe A_{r-1} .

15 **[0012]** Dans un mode de réalisation préféré, le système multistable selon l'invention comprend un ou plusieurs dispositif(s) de guidage pour guider la ou chacune des extrémité(s) réglable(s) des organes élastiques de rang r , avec r compris entre 1 et n , le long de l'axe A_r correspondant. Avantageusement, ledit ou lesdits dispositif(s) de guidage sont montés sur un châssis portant ledit système multistable. Chaque dispositif de guidage peut, par exemple, être un dispositif de guidage élastique tel qu'un système à lames élastiques, éventuellement multistable, ou encore un dispositif de guidage non élastique tel qu'une rainure ou un rail.

20 **[0013]** Avantageusement, au moins une des extrémités dudit système multistable dont la position est réglable est associée à un dispositif de réglage de position comprenant une vis de réglage.

25 **[0014]** Avantageusement, au moins une des extrémités dudit système multistable sur laquelle est appliquée une force réglable est associée à un dispositif de réglage de force comprenant un ressort contraint par une vis, ladite vis permettant de régler la force exercée par ledit ressort sur l'extrémité réglable en force correspondante.

30 **[0015]** Les organes élastiques selon l'invention comprennent typiquement des lames déformables en flambage et/ou des bras articulés soumis à l'action d'au moins un ressort. Avantageusement, au moins un des organes élastiques comprend plusieurs lames déformables en flambage.

35 **[0016]** Dans un mode de réalisation préféré de l'invention, les organes élastiques sont monobloc les uns avec les autres et, de préférence, aussi avec le châssis.

40 **[0017]** Avantageusement, au moins l'organe élastique de rang $r=n$ comprend, entre ses première et deuxième extrémités, une articulation, typiquement à pivot flexible, pour diminuer les contraintes subies par le système multistable selon l'invention.

45 **[0018]** Le système multistable ainsi obtenu est capable de changer sa multistabilité, c'est-à-dire de changer le nombre de positions stables qu'il peut atteindre ainsi que les forces nécessaires pour passer d'une position stable à une autre.

50 **[0019]** D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée suivante faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

La figure 1 est une représentation schématique d'un système multistable selon un premier mode de réalisation de l'invention.

Les figures 2a à 2c sont des représentations schématiques de variantes du système multistable selon le premier mode de réalisation de l'invention.

La figure 3a représente le système multistable selon le premier mode de réalisation de l'invention. Ce dernier est divisé en une première partie comprenant un organe élastique de rang $r=1$ et en une deuxième partie comprenant un organe élastique de rang $r=2$. Les figures 3b et 3c sont des graphiques représentant l'évolution de forces respectivement R1 et R2 dont l'analyse permet de comprendre le comportement du système représenté dans la figure 3a.

Les figures 4a à 4e sont des représentations schématiques de différentes configurations du système multistable selon le premier mode de réalisation de l'invention.

La figure 5 est un diagramme représentant les différentes configurations possibles du système multistable selon le premier mode de réalisation de l'invention, en fonction de valeurs de réglage.

Les figures 6a à 6h sont des représentations schématiques de différentes configurations d'une variante du système multistable selon le premier mode de réalisation de l'invention comprenant trois organes élastiques.

La figure 7 est une représentation schématique d'un système multistable selon un second mode de réalisation de l'invention.

La figure 8 est une représentation schématique d'un système multistable selon un troisième mode de réalisation de l'invention.

Les figures 9, 10 et 12 sont des représentations schématiques de variantes du système multistable selon l'invention.

La figure 11 est une représentation schématique d'une variante d'un organe élastique du système multistable selon l'invention.

[0020] Chaque extrémité réglable du système multistable selon l'invention peut être réglée en position, on parlera alors d'extrémité réglable en position, ou être soumise à une force dont l'intensité est réglable, on parlera alors d'extrémité réglable en force.

[0021] Lorsque toutes les extrémités réglables du système multistable selon l'invention sont réglables en position, on parle de « système multistable programmable par déplacement ». Lorsque toutes les extrémités réglables du système multistable selon l'invention sont réglables en force, on parle de « système multistable programmable par force ». L'invention concerne également des systèmes multistables « mixtes » ou « hybrides » dans lesquels certaines extrémités sont réglables en position et d'autres extrémités sont réglables en force.

[0022] On entend par « châssis » une structure fixe sur laquelle est fixé au moins en partie le système multista-

ble.

[0023] Par « organe élastique » on entend un organe dont une partie au moins est déformable élastiquement.

[0024] En référence à la figure 1, un système multistable selon un premier mode de réalisation de l'invention comprend un premier organe élastique 1, dit de rang $r=1$, et un deuxième organe élastique 10, dit de rang $r=2$. Le premier organe élastique 1 comprend deux lames 1a, 1b, parallèles et déformables en flambage, s'étendant entre des première 2 et deuxième 3 extrémités, et une zone de liaison 4, de préférence rigide, interrompant les lames 1a et 1b entre lesdites première 2 et deuxième 3 extrémités, de préférence en leur milieu, la première extrémité 2 étant jointe à un châssis 5 portant ledit système multistable. Le deuxième organe élastique 10 comprend une lame déformable en flambage s'étendant entre des première 20 et deuxième 30 extrémités et est joint par sa première extrémité 20 à la zone de liaison 4 du premier organe élastique 1.

[0025] Les positions de la deuxième extrémité 3 du premier organe élastique 1 et de la deuxième extrémité 30 du deuxième organe élastique 10 sont réglables de façon à définir, pour le système multistable, au moins quatre configurations ayant des nombres d'états stables différents, en l'occurrence, au moins une configuration monostable, une configuration bistable, une configuration tristable et une configuration quadristable.

[0026] Un tel système multistable dont toutes les extrémités réglables sont réglables en position est un système multistable programmable par déplacement.

[0027] Les extrémités réglables 3, 30 des organes élastiques 1, 10 sont respectivement aptes à se déplacer en translation selon des axes A_1 et A_2 respectivement parallèles aux lames 1a et 1b au repos et à l'organe élastique 10 au repos, l'axe A_2 étant de préférence perpendiculaire à l'axe A_1 .

[0028] La zone de liaison 4 est mobile, elle se déplace typiquement en translation selon un axe perpendiculaire à l'axe A_1 .

[0029] Le système multistable représenté à la figure 1 comprend deux dispositifs de guidage 6, 60 pour guider les extrémités réglables 3, 30 des organes élastiques 1, 10 respectivement le long des axes A_1 et A_2 . Les dispositifs de guidage 6, 60 du premier mode de réalisation peuvent comprendre des dispositifs de guidage non élastique, par exemple de type rail ou rainure, comme représenté schématiquement à la figure 1 ou des dispositifs de guidage élastique. Les dispositifs de guidage élastique peuvent être de simples guidages élastiques, comme représenté à la figure 2a, ou des guidages élastiques bistables (cf. figure 2b), tristables (cf. figure 2c) et plus généralement multistables. Dans le cas de tels guidages élastiques multistables, des butées 6', 60' peuvent être prévues pour définir des positions situées juste après des positions instables.

[0030] Les dispositifs de guidage 6, 60 pour les extrémités réglables 3, 30 peuvent être les mêmes, comme représenté par exemple dans la figure 2, ou être diffé-

rents l'un de l'autre.

[0031] Les différents types de dispositifs de guidage 6, 60 envisageables sont typiquement montés sur le châssis 5 portant le système multistable selon l'invention, comme illustré schématiquement notamment aux figures 1 et 2.

[0032] Le système multistable représenté à la figure 1 comprend deux dispositifs de réglage de position 7, 70 comprenant chacun une vis de réglage 8, 80, les dispositifs de réglage de position 7, 70 permettant de régler la position selon les axes A_1 et A_2 des extrémités réglables 3, 30. Un dispositif de guidage élastique 6, 60, lorsqu'il est multistable, comme illustré dans les figures 2b et 2c, peut également jouer un rôle de dispositif de réglage de position 7, 70. Dans ce cas, chaque position stable dudit dispositif de guidage élastique multistable correspond à une valeur de réglage discrète δ .

[0033] La position de chacune des extrémités réglables 3, 30 varie respectivement d'une distance δ_1 et δ_2 (cf. figure 3a), ci-après « valeur de réglage », par rapport à sa position de repos, sous l'effet de l'actionnement du dispositif de réglage de position 7, 70. En particulier, comme illustré dans la figure 1, le serrage des vis de réglage 8, 80 des dispositifs de réglage de position 7, 70 engendre une compression des organes élastiques 1, 10 donc leur flambage. En position de repos $\delta_1 = \delta_2 = 0$ et les organes élastiques 1, 10 sont droits (non flambés).

[0034] Le deuxième organe élastique 10 comprend une zone d'application 90 d'une force d'entrée F_e permettant de faire basculer le système multistable d'un état stable à un autre, dans le cas où le système multistable est dans une configuration multistable, c'est-à-dire ayant au moins deux états stables. La zone d'application 90 est de préférence rigide et située au milieu du deuxième organe élastique 10, elle est mobile en translation selon un axe perpendiculaire à l'axe A_2 . Cependant, il est également possible, lorsque les valeurs de réglage δ_1 et δ_2 le permettent, de faire basculer le système multistable d'un état stable à un autre en agissant ailleurs sur le système, par exemple au niveau de la zone de liaison 4 du premier organe élastique 1.

[0035] Le nombre d'états stables atteignables dépend notamment de la position des extrémités réglables 3, 30 et des caractéristiques physiques et géométriques des organes élastiques 1, 10 (par exemple leur longueur et leur capacité de flambage).

[0036] Les organes élastiques 1, 10 étant montés en série, les forces de compression qui s'exercent sur chacun d'eux sont dépendantes les unes des autres.

[0037] Les positions respectives des extrémités réglables 3, 30 des premier 1 et deuxième 10 organes élastiques permettent de régler la configuration du système multistable, c'est-à-dire de régler le nombre d'états stables du système multistable ainsi que la force de basculement nécessaire pour faire passer chaque organe élastique 1, 10 d'un état stable à un autre. En effet, selon la position des extrémités 3, 30, les organes élastiques 1, 10 sont soumis à une compression plus ou moins forte

sous l'effet de laquelle ils vont se déformer, plus précisément flamber.

[0038] Les conditions de multistabilité du système multistable selon l'invention seront plus facilement comprises en divisant ledit système en deux parties :

- une première partie incluant le premier organe élastique 1 et
- une deuxième partie incluant le deuxième organe élastique 10.

[0039] Pour chacune de ces parties les forces de réaction respectives R_1 et R_2 sont estimées au point de connexion correspondant à la zone de liaison 4. La figure 3a illustre ces deux parties.

[0040] Lorsque l'on actionne le système avec une force d'entrée F_e dans la direction latérale « y », le deuxième organe élastique 10 s'étend axialement, ce qui produit la force axiale R_2 .

[0041] Le premier organe élastique 1 est un bistable. Une force d'actionnement est requise pour son déplacement. La force nécessaire pour le faire passer d'un état stable à l'autre est désignée par R_{b1} (force de basculement).

[0042] La figure 3b représente l'évolution de la force de réaction R_1 apparaissant sur le premier organe élastique 1 en réponse à l'extension du deuxième organe élastique 10 sous l'effet de la force d'entrée F_e appliquée dans la zone d'application 90 dudit deuxième organe élastique 10 en fonction du déplacement transversal « x » de la zone de liaison 4 du premier organe élastique 1.

[0043] La figure 3c est un graphique représentant l'évolution de la force axiale R_2 en fonction du déplacement transversal « y » de la zone d'application 90 de force d'entrée du deuxième organe élastique 10. Elle se divise en trois régions 1, 2 et 3. Les valeurs de R_{b1} par rapport aux régions 1, 2 et 3, définissent la multistabilité du système. Ainsi, le fonctionnement du système multistable selon l'invention dépend des forces R_2 et R_{b1} qui elles-mêmes dépendent des positions des extrémités réglables 3, 30 et donc des valeurs de réglage δ_1 et δ_2 .

[0044] Dans le cas où la valeur de réglage δ_1 implique que R_{b1} se situe dans la région 1 de la figure 3c, la force axiale R_2 du deuxième organe élastique 10 est toujours supérieure à la force R_{b1} nécessaire pour basculer la position de l'organe élastique 1, le premier organe élastique 1 est donc toujours dans son premier état stable et ne peut pas passer dans son deuxième état stable. Dans ce cas, selon la valeur de réglage de δ_2 , le système multistable peut fonctionner comme un système monostable ou bistable :

- si δ_2 est inférieur à une valeur critique δ_{2a} , le système multistable a une seule position stable, il est monostable ;
- si δ_2 est supérieur à la valeur critique δ_{2a} , le système multistable a deux positions stables, il est bistable.

[0045] Dans le cas où la valeur de réglage δ_1 implique que R_{b1} se situe dans la région 2 de la figure 3c, le système multistable peut fonctionner soit comme quadristable, soit comme tristable :

- si $\delta_2 \leq D_1$, le système multistable fonctionne comme un système tristable, où D_1 représente la valeur maximale du déplacement transversal « x » de la zone de liaison 4 du premier organe élastique 1 après l'application des valeurs de réglage δ_1 et δ_2 avec $F_e=0$.
- sinon, le système multistable fonctionne comme quadristable.

[0046] Dans le cas où la valeur de réglage δ_1 implique que R_{b1} se situe dans la région 3 de la figure 3c, la force axiale R_2 du deuxième organe élastique 10 n'est jamais suffisante pour basculer le premier organe élastique 1 entre ses deux positions stables, le système multistable fonctionne donc comme un système bistable.

[0047] Les figures 4a à 4e illustrent différentes configurations possibles que peut prendre le système multistable, selon le premier mode de réalisation de l'invention.

[0048] Dans le cas où aucune valeur de réglage n'est programmée, c'est-à-dire lorsque $\delta_1=\delta_2=0$, le système multistable n'a qu'une position stable, il est donc monostable, comme représenté dans la figure 4a.

[0049] Lorsque l'on augmente la valeur de réglage δ_2 , le deuxième organe élastique 10 flambe et fonctionne comme un bistable. Si l'on augmente davantage la valeur de réglage δ_2 , la bistabilité augmente, conduisant à des forces de basculement plus élevées et à des courses plus grandes entre les positions stables. En ce qui concerne le basculement entre différents états stables, il y a deux possibilités :

- soit la force axiale R_2 du deuxième organe élastique 10 est suffisante pour pousser le premier organe élastique 1 et le faire flamber, comme illustré dans la figure 4b,
- soit la force nécessaire pour basculer le premier organe élastique 1 est suffisamment importante pour que le deuxième organe élastique 10 flambe dans son état de transition entre ses deux positions stables, comme illustré dans la figure 4c.

[0050] Lorsque les deux conditions ci-dessous sont réunies :

- premièrement, R_{b1} se situe dans la région 2 de la figure 3c ; et
- deuxièmement, la condition $\delta_2 \leq D_1$ est respectée,

le système multistable fonctionne comme un système tristable. La figure 4d illustre les trois positions stables de cette configuration.

[0051] Enfin, dans le cas où R_{b1} n'est ni toujours supérieur à R_2 , ni toujours inférieur à R_2 (région 2 de la

figure 3c) et où la relation $\delta_2 > D_1$ est satisfaite, le système multistable est un système quadristable. La figure 4e illustre les quatre positions stables du système multistable.

[0052] Le diagramme de la figure 5 représente les différentes configurations dans lesquelles se trouve le système multistable en fonction des valeurs de réglage δ_1 et δ_2 . Ainsi, l'utilisateur utilise un tel diagramme pour adapter la position des extrémités des organes élastiques 1, 10 selon qu'il veuille obtenir un système monostable, bistable, tristable ou quadristable.

1) Dans le cas où aucune valeur de réglage n'est programmée, c'est-à-dire lorsque $\delta_1=\delta_2=0$, le système multistable est monostable et les deux organes élastiques 1, 10 déformables en flambage ont une rigidité positive. En augmentant les valeurs de réglage, la rigidité diminue.

2) En augmentant la seconde valeur de réglage δ_2 au-delà d'une valeur critique δ_{2a} , le système multistable commence à fonctionner comme un bistable (configuration dite « bistable 1 »). En augmentant la valeur de δ_1 , la rigidité du premier organe élastique 1 diminue. Aussi, une plus grande valeur de δ_2 est nécessaire pour maintenir le flambage du deuxième organe élastique 10.

3) En augmentant la valeur de réglage du premier organe élastique 1 au-delà d'une valeur critique δ_{1a} , le premier organe élastique 1 flambe. Afin de produire une tristabilité, la valeur de réglage δ_1 doit être suffisante pour que la force R_{b1} nécessaire pour faire basculer le premier organe élastique 1 se situe dans la région 2 de la figure 3c. Dans ces cas, le système multistable fonctionne comme un tristable tant que $\delta_2 \leq D_1$.

4) En augmentant la valeur de réglage δ_2 , la condition $\delta_2 > D_1$ est vérifiée, le système multistable est alors dans une configuration quadristable.

5) En augmentant la valeur de réglage δ_1 , la force R_{b1} nécessaire pour faire basculer le premier organe élastique 1 d'un état stable à un autre augmente. Lorsque δ_1 atteint une valeur critique δ_{1c} , la force de basculement R_{b1} entre dans la région 3 de la figure 3c. Ainsi, le deuxième organe élastique 10 n'apporte pas assez de force pour faire basculer le premier organe élastique 1 vers un autre état stable. Le système multistable est donc dans une configuration bistable (dite « bistable 2 ») obtenue uniquement par le flambage du deuxième organe élastique 10.

6) A partir de certaines valeurs de réglage δ_1 et δ_2 , le matériau constituant le système multistable atteint sa limite de contrainte maximale.

[0053] Le diagramme de la figure 5 dépend des caractéristiques physiques et géométriques des organes élastiques 1, 10 utilisés. Un tel diagramme peut être obtenu grâce à des simulations de type méthode des éléments finis MEF (ou FEM pour « finite elements method »).

Dans le cas d'un système multistable présentant deux organes élastiques 1, 10 ce diagramme est en deux dimensions, comme dans la figure 5. Dans le cas où l'on aurait trois organes élastiques, on pourrait établir un diagramme en trois dimensions prédisant le comportement du système multistable. Pour un système multistable qui comporterait plus de trois organes élastiques, le comportement du système multistable selon les valeurs de réglage de différentes extrémités réglables serait également prévisible par des méthodes analogues mais celles-ci ne permettraient pas une représentation graphique.

[0054] Les figures 6a à 6h représentent différentes configurations multistables d'un système multistable selon le premier mode de réalisation de l'invention comprenant trois organes élastiques 1, 10, 100, le troisième organe élastique 100 s'étendant parallèlement au premier organe élastique 1, étant joint par sa première extrémité 200 à une zone de liaison 40 du deuxième organe élastique 10 et ayant sa deuxième extrémité 300 réglable en position. Selon les valeurs de réglage δ_1 , δ_2 et la valeur de réglage δ_3 de la deuxième extrémité 300 du troisième organe élastique 100, le système multistable peut prendre une configuration monostable (figure 6a), bistable (figure 6b), tristable (figure 6c), quadristable (figure 6d), pentastable (figure 6e), hexastable (figure 6f), heptastable (figure 6g) ou octastable (figure 6h). Le passage d'un état stable à un autre s'obtient en appliquant une force d'entrée F_e au niveau d'une zone d'application 900, située de préférence au milieu du troisième organe élastique 100. Cependant, il est également possible, lorsque les valeurs de réglage δ_1 , δ_2 , et δ_3 le permettent, de faire basculer le système multistable d'un état stable à un autre en agissant ailleurs sur le système, par exemple au niveau des zones de liaison 4, 40 des premier et deuxième organes élastiques 1, 10. Le nombre maximum d'états stables atteignables est de $2^3=8$. Ce système multistable peut être généralisé à n organes élastiques, où n est un nombre entier supérieur ou égal à 2. Le nombre maximum d'états stables possibles est alors de 2^n .

[0055] En référence à la figure 7, un système multistable selon un deuxième mode de réalisation de l'invention diffère du système multistable selon le premier mode de réalisation de l'invention en ce qu'il s'agit d'un système multistable programmable par force. Les extrémités réglables 3, 30 d'un tel système multistable, au lieu d'être réglables en position comme dans le premier mode de réalisation de l'invention, sont réglables en force, chaque extrémité 3, 30 réglable en force d'un organe élastique de rang r, avec r compris entre 1 et n, étant soumise à une force F_r .

[0056] Le système multistable selon le second mode de réalisation de l'invention comprend un dispositif de réglage de force 7', 70' tel qu'un ressort contraint par une vis 8', 80' pour régler la force qui lui est appliquée.

[0057] Dans ce second mode de réalisation de l'invention, le nombre de positions stables atteignables dépend

notamment de la force appliquée aux extrémités réglables 3, 30 et des caractéristiques physiques et géométriques des organes élastiques 1, 10 (par exemple leur longueur et leur capacité de flambage).

[0058] L'avantage d'un système multistable programmable par force est qu'il permet un réglage plus précis qu'un système multistable programmable par déplacement.

[0059] En effet, si l'on compare le réglage d'une extrémité du système multistable selon l'invention selon que l'on considère un système multistable programmable par déplacement dont le dispositif de réglage de position 7, 70 est une simple vis de réglage 8, 80 ou un système multistable programmable par force dont le dispositif de réglage de force 7', 70' est également une vis 8', 80' mais dans lequel cette vis 8', 80' agit par l'intermédiaire d'un ressort dont elle détermine l'état de compression, le serrage de la vis entraîne dans le premier cas (vis de réglage de position 8, 80) un déplacement d'une distance λ de la position de l'extrémité 3, 30 à régler et dans le second cas (vis de réglage de force 8', 80') une compression du ressort d'une distance λ affectant ainsi la force exercée par ledit ressort sur l'extrémité 3, 30 de l'organe élastique 1, 10 correspondant. Pour un même serrage de la vis et une même distance λ , la force de compression résultante exercée sur l'organe élastique 1, 10 correspondant sera plus faible dans le cas du système multistable programmable par force que dans le cas du système multistable programmable par déplacement. Le rapport entre la distance parcourue par la vis et la force de compression exercée sur l'organe élastique est donc plus élevé pour un dispositif de réglage à déplacement programmable que dans le cas d'un dispositif de réglage à force programmable. Aussi, dans un système multistable dans lequel les variations de forces nécessaires pour basculer d'un état stable à un autre sont très faibles et demandent un réglage précis, un système multistable programmable par force est plus approprié.

[0060] Le système multistable programmable par force selon le second mode de réalisation de l'invention se comporte de la même façon que le système multistable programmable par déplacement selon le premier mode de réalisation de l'invention à la différence près qu'en fonctionnement (après réglage) les extrémités réglables 3, 30 du système multistable selon le second mode de réalisation sont mobiles (elles peuvent se déplacer lors du passage d'un état stable à un autre) alors qu'elles sont fixes dans le cas du premier mode de réalisation.

[0061] Un diagramme permettant de prévoir le comportement du système multistable selon le second mode de réalisation de l'invention est réalisable de manière similaire au premier mode de réalisation.

[0062] Comme dans le premier mode de réalisation de l'invention, lorsque l'on utilise n organes élastiques en série on obtient un système multistable présentant plusieurs configurations différentes et la configuration possédant le plus d'états stables différents possède 2^n états stables.

[0063] La figure 8 est un exemple d'un système multistable « mixte » selon un troisième mode de réalisation de l'invention dans lequel certaines extrémités sont réglables en position et d'autres extrémités sont réglables en force.

[0064] Ce système comprend des organes élastiques doubles 1, 10 comprenant des paires de longues parties rigides 11 et de courtes parties élastiques 12.

[0065] Le premier organe élastique 1 comporte une première extrémité 2 jointe au châssis 5. La zone de liaison 4 du premier organe élastique 1 est constituée d'une entretoise 4 qui bloque la rotation du premier organe élastique 1. La deuxième extrémité 3 du premier organe flexible 1 correspond à un bloc réglable en position ou pouvant être soumis à une force réglable.

[0066] Dans le cas où la deuxième extrémité du premier organe élastique 1 est réglable en force, le bloc constituant l'extrémité 3 se déplace axialement parallèlement à l'axe A_1 sous l'effet d'une force exercée par deux lames ressorts parallèles 13, 13'. Les lames ressorts 13, 13' sont contraintes par un bloc 14 dont le déplacement est guidé par une lame de guidage 6. Le déplacement des blocs 3, 14 est limité par des butées 18, 18', comme illustré sur la figure 8.

[0067] Dans le cas où la deuxième extrémité du premier organe élastique 1 est réglable en position, le bloc constituant l'extrémité 3 et le bloc 14 sont reliés rigide-ment par un pont (non représenté) de sorte que le déplacement axial du bloc 14 d'une distance δ_1 entraîne un déplacement axial équivalent du bloc constituant l'extrémité 3.

[0068] Le deuxième organe élastique 10 comporte une première extrémité 20 jointe à la zone de liaison 4 du premier organe élastique 1. La deuxième extrémité 30 dudit deuxième organe flexible 10 correspond à un bloc 30 dont la position est réglable (par déplacement d'une distance δ_2) et guidée par un dispositif de guidage 60 constitué de parties flexibles 15 et de parties rigides 16.

[0069] Le deuxième organe élastique 10 comprend en outre une articulation 17 comprenant deux parties rigides 17a et 17b reliées entre elles par deux lames ressorts 17c et 17d non parallèles qui forment un pivot flexible permettant aux deux parties rigides 17a et 17b de pivoter l'une par rapport à l'autre. Une telle articulation permet de diminuer les contraintes subies par le système.

[0070] Dans la figure 8, le système est programmé par l'intermédiaire des blocs 14 et 30 et la force d'entrée F_e est appliquée à la partie rigide 17a.

[0071] Dans les trois modes de réalisation de l'invention, les n organes élastiques sont typiquement monobloc les uns avec les autres et, de préférence, aussi monobloc avec le châssis 5. L'ensemble des organes élastiques peut être réalisé dans tout matériau approprié, par exemple un métal ou un alliage métallique (selon par exemple la technologie LIGA) ou le silicium (selon par exemple la technologie DRIE).

[0072] Les organes élastiques peuvent avoir différentes formes. Chacun de ces organes peut être constitué

d'un organe élastique simple, comme le deuxième organe élastique 10 de la figure 1, ou être constitué d'un organe élastique double, comme le premier organe élastique 1 de la figure 1. Les organes élastiques d'un système multistable selon l'invention peuvent également être tous constitués d'organes élastiques simples, comme dans les figures 6a à 6h ou bien être tous constitués d'organes élastiques doubles, comme illustré dans la figure 8. La figure 9 illustre un exemple comprenant trois organes élastiques doubles. Le système multistable représenté dans la figure 9 comprend trois organes élastiques 1, 10, 100, comprenant chacun une première lame élastique 1a, 10a, 100a et une deuxième lame élastique 1b, 10b, 100b.

[0073] Chacun des organes élastiques peut également comprendre une première moitié constituée d'une seule lame élastique 1e, 10e, 100e et une deuxième moitié constituée de deux lames élastiques 1c, 1d, 10c, 10d, 100c, 100d, les deux moitiés étant séparées par la zone de liaison 4, 40 de l'organe élastique ou par la zone d'application 900 de force, comme représenté dans la figure 10. Chacun des organes élastiques peut aussi comprendre de longues parties rigides 11 et de courtes parties élastiques 12 comme illustré par la figure 11 et comme déjà décrit en relation avec la figure 8.

[0074] Quel que soit le mode de réalisation de l'invention, au lieu de comprendre une ou des lames déformables en flambage, chaque organe élastique 1, 10 peut comprendre des bras articulés 1.1, 1.2, 10.1, 10.2 soumis à l'action d'au moins un ressort 1.3, 10.3 comme illustré dans la figure 12. Sous l'effet d'une compression, de tels organes élastiques fléchissent au lieu de flamber, le principe de fonctionnement du système multistable restant le même.

[0075] La figure 12 illustre également un dispositif d'application de force constitué d'un bras 91 articulé par une première extrémité à la zone d'application 90 de force du deuxième organe élastique 10, sa deuxième extrémité 92 étant guidée par un dispositif de guidage d'application de force 93 de type rainure ou rail.

[0076] Il apparaîtra clairement à l'homme du métier que la présente invention n'est en aucun cas limitée aux modes de réalisation représentés dans les figures. Elle n'est par exemple pas limitée à un nombre d'extrémités réglables particulier. Le système multistable selon l'invention pourrait n'avoir qu'une seule extrémité réglable, chaque organe élastique pourrait avoir une extrémité réglable, ou seulement certains organes élastiques pourraient avoir une extrémité réglable.

[0077] Le système multistable ainsi obtenu est capable de changer sa multistabilité, c'est-à-dire de changer le nombre de positions stables qu'il peut atteindre ainsi que les forces nécessaires pour passer d'une position stable à une autre. Un tel système peut être utilisé dans des applications très diverses telles que dans l'horlogerie, dans les détecteurs de seuil (par exemple dans les capteurs d'accélération), dans les commutateurs, dans les vannes, dans les positionneurs ou encore dans les robots

reconfigurables.

Revendications

1. Système multistable comprenant :

- un premier organe élastique (1) de rang $r=1$ comprenant des première (2) et deuxième (3) extrémités et une zone de liaison (4) entre lesdites première (2) et deuxième (3) extrémités, et
- (n-1) autres organes élastiques (10, 100) de rang r comprenant chacun des première (20, 200) et deuxième (30, 300) extrémités, avec r compris entre 2 et n, n étant un nombre entier supérieur ou égal à 2, chacun desdits autres organes élastiques de rang r avec r compris entre 2 et (n-1) comprenant une zone de liaison (40) entre ses première et deuxième extrémités, chacun desdits autres organes élastiques de rang r avec r compris entre 2 et n étant joint par sa première extrémité à la zone de liaison de l'organe élastique de rang (r-1);

la position d'au moins une desdites première (2) et deuxième (3) extrémités du premier organe élastique (1) ou la force appliquée à au moins une desdites première (2) et deuxième (3) extrémités du premier organe élastique (1), et/ou la position de la deuxième extrémité d'au moins un desdits (n-1) autres organes élastiques (10, 100) ou la force appliquée à la deuxième extrémité d'au moins un desdits (n-1) autres organes élastiques (10, 100), étant réglable de façon à définir, pour le système multistable, au moins deux configurations multistables ayant des nombres d'états stables différents.

2. Système multistable selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la position de la deuxième extrémité ou la force appliquée à la deuxième extrémité de chacun des n organes élastiques (1, 10, 100) est réglable.
3. Système multistable selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** chacune desdites zones de liaison (4, 40) est située au milieu de l'organe élastique (1,10) qui la porte.
4. Système multistable selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** la ou chacune des extrémité(s) réglable(s) des organes élastiques (1, 10, 100) de rang r, avec r compris entre 1 et n, est apte à se déplacer en translation selon un axe A_r .
5. Système multistable selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** chaque axe A_r , avec r compris entre 2 et n, est perpendiculaire à l'axe A_{r-1} .

6. Système multistable selon la revendication 4 ou 5, **caractérisé en ce qu'il** comprend un ou plusieurs dispositifs de guidage (6, 60, 600) pour guider la ou chacune des extrémités réglables des organes élastiques (1, 10, 100) de rang r, avec r compris entre 1 et n, le long de l'axe A_r correspondant.
7. Système multistable selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** ledit ou lesdits dispositif(s) de guidage (6, 60, 600) comprennent au moins un dispositif de guidage élastique.
8. Système multistable selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** ledit au moins un dispositif de guidage élastique est multistable.
9. Système multistable selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'au** moins une des extrémités dudit système dont la position est réglable est associée à un dispositif de réglage de position (7, 70) comprenant une vis de réglage (8, 80).
10. Système multistable selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'au** moins une des extrémités dudit système sur laquelle est appliquée une force réglable est associée à un dispositif de réglage de force (7', 70') comprenant un ressort contraint par une vis (8', 80').
11. Système multistable selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'au** moins un desdits organes élastiques (1, 10, 100) comprend une ou des lames déformables en flambage.
12. Système multistable selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'au** moins un desdits organes élastiques (1, 10) comprend des bras articulés (1.1, 1.2, 10.1, 10.2) soumis à l'action d'au moins un ressort (1.3, 10.3).
13. Système multistable selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'au** moins un desdits organes élastiques (1, 10, 100) comprend plusieurs lames (1a, 1 b) déformables en flambage.
14. Système multistable selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** lesdits organes élastiques (1, 10, 100) sont monobloc les uns avec les autres.
15. Système multistable selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** $n=2$ ou $n=3$.
16. Système multistable selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'au** moins l'organe élastique de rang $r=n$ comprend une articulation entre ses première et deuxième extrémités pour diminuer les contraintes subies par ledit système.

Fig.1

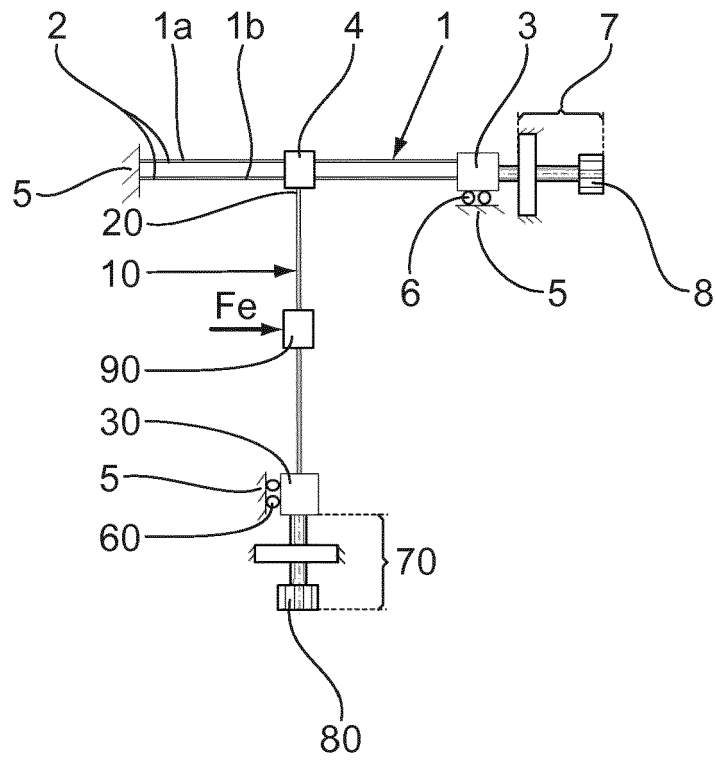
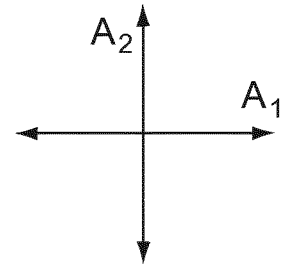


Fig.2a

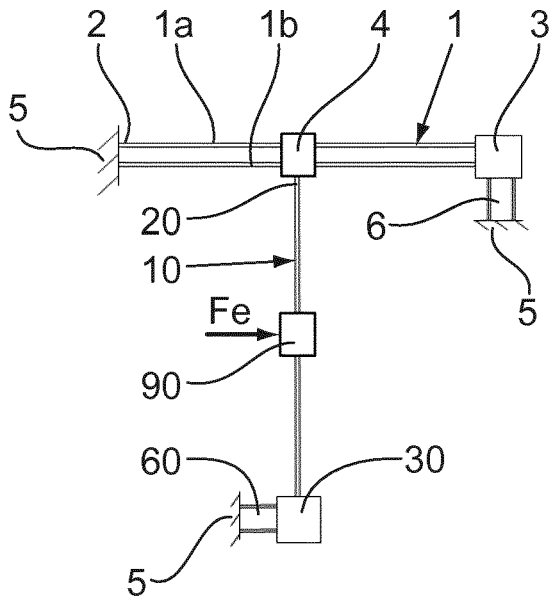


Fig.2b

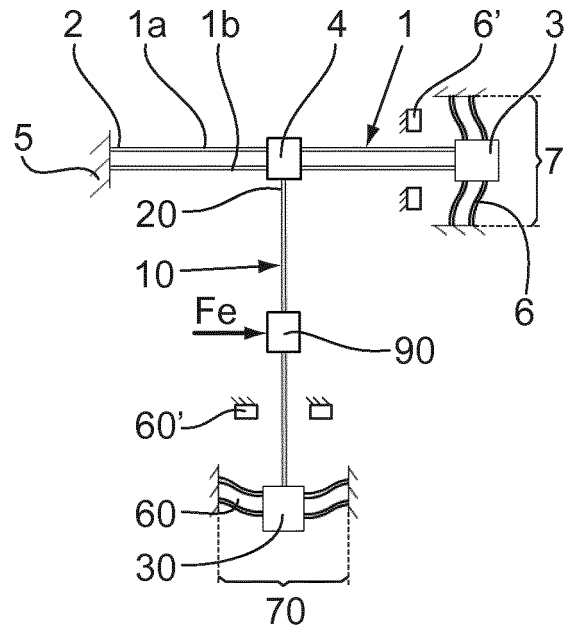


Fig.2c

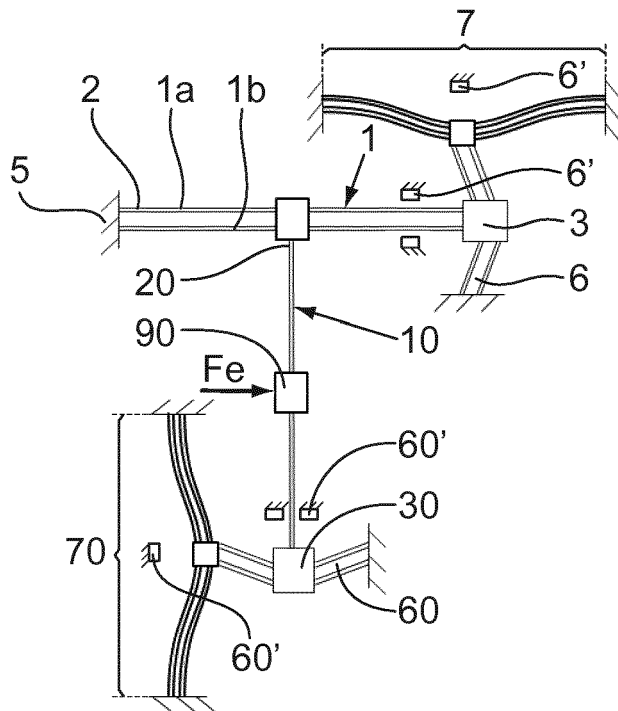


Fig.3a

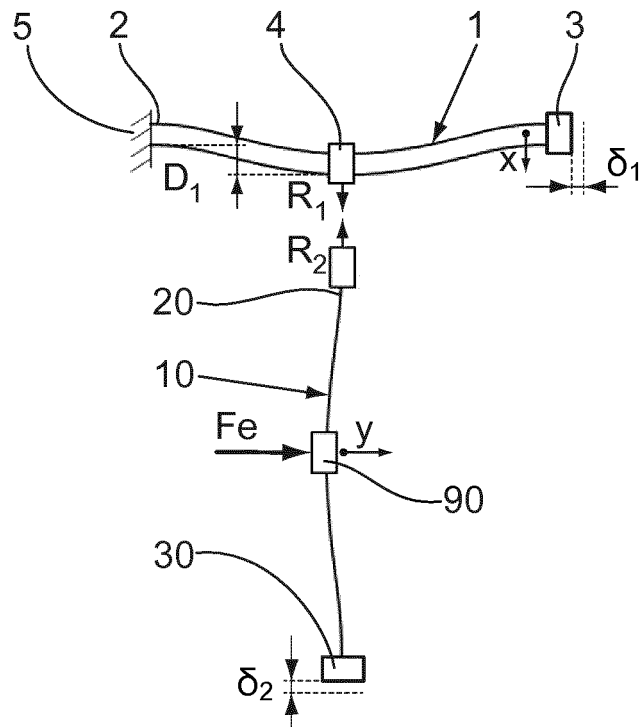


Fig.3b

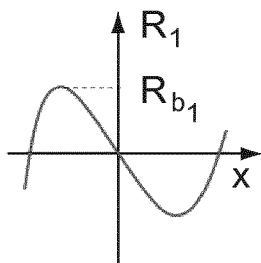


Fig.3c

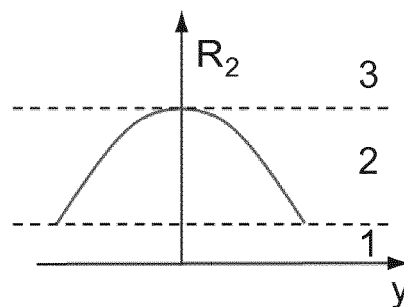


Fig.4a

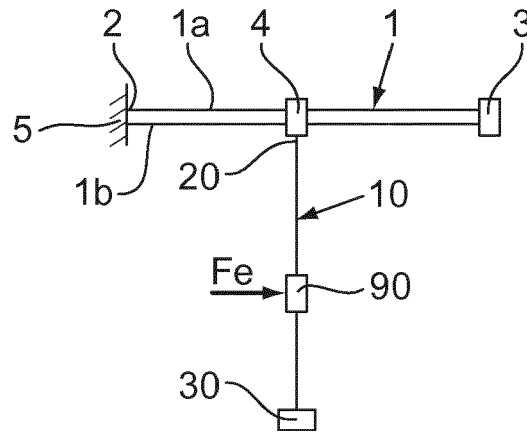


Fig.4b

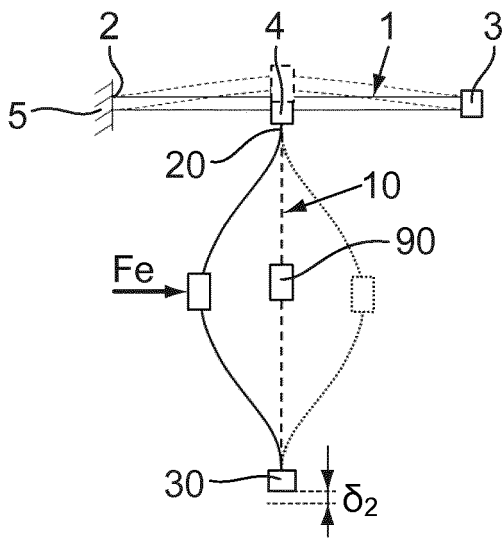


Fig.4c

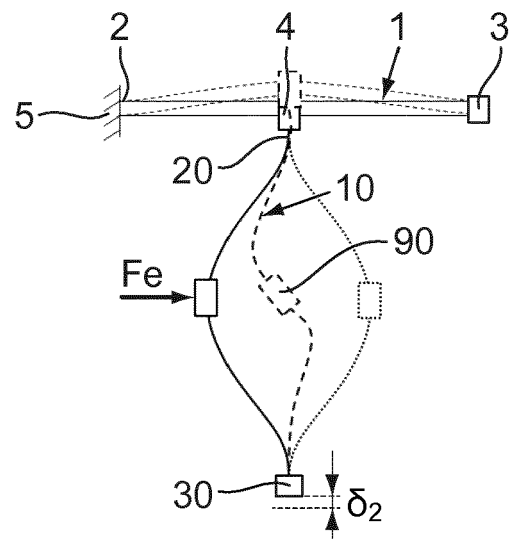


Fig.4d

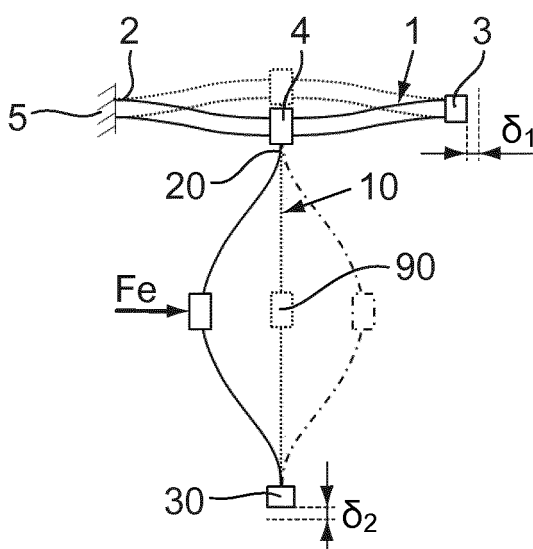


Fig.4e

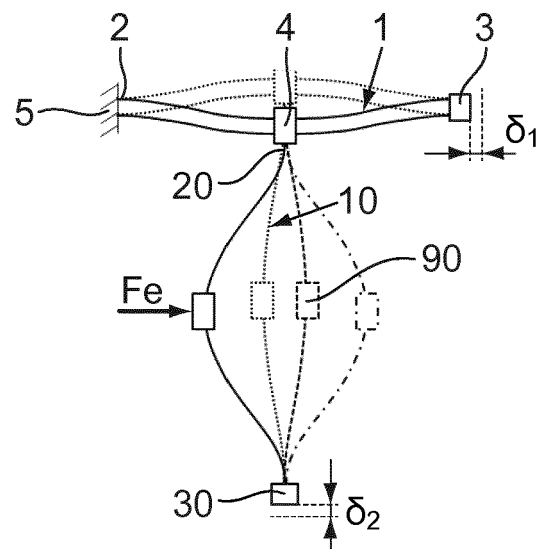


Fig.5

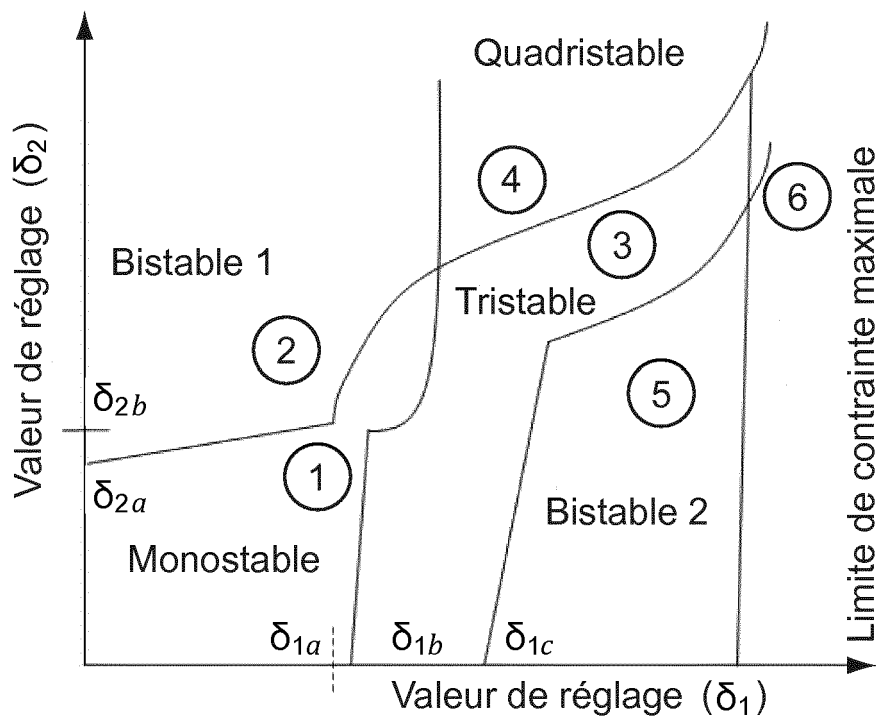


Fig.6a

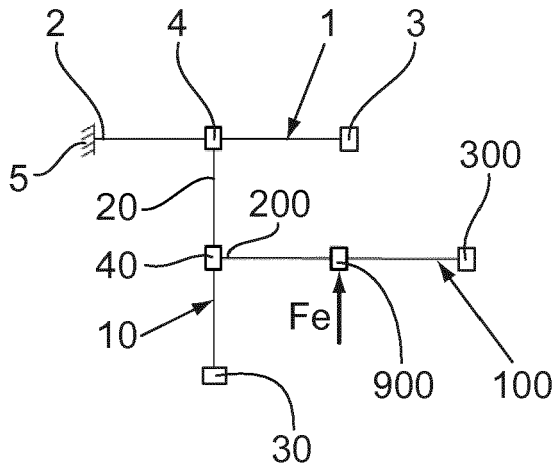


Fig.6b

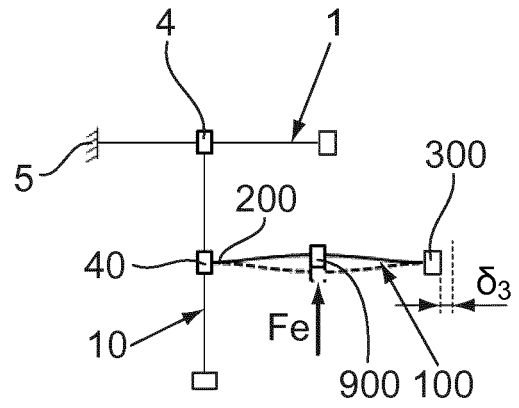


Fig.6c

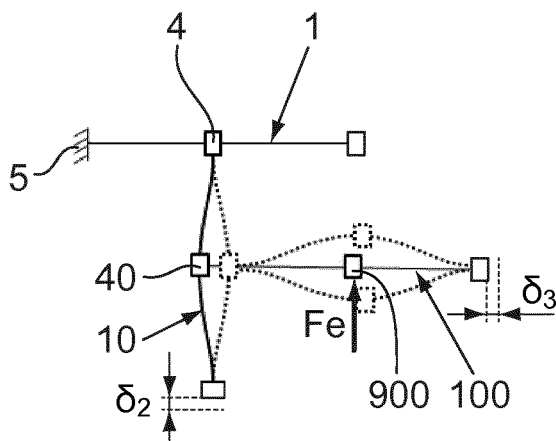


Fig.6d

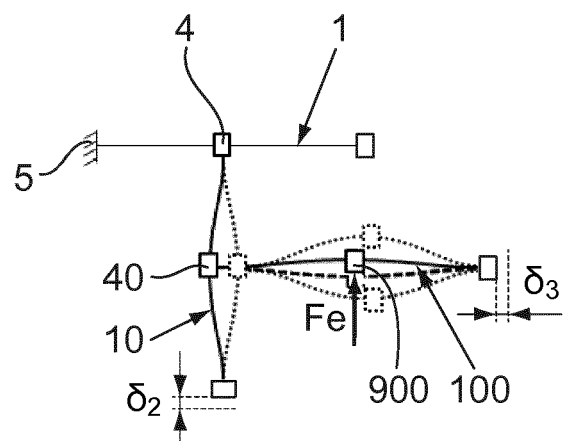


Fig.6e

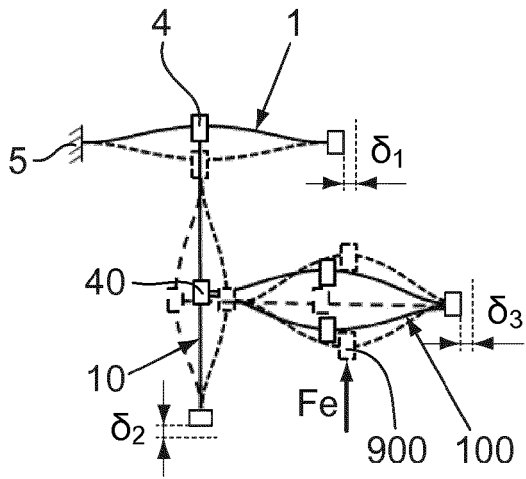


Fig.6f

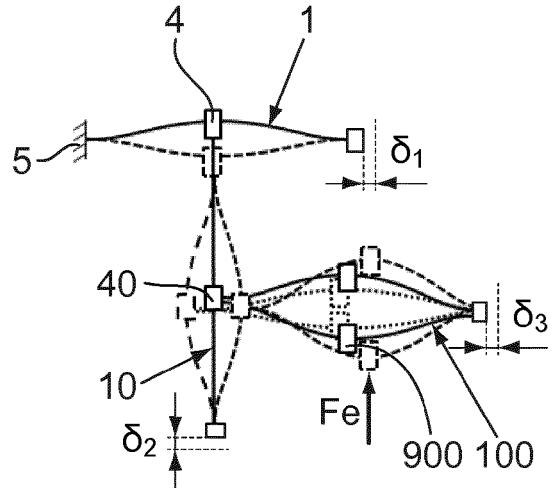


Fig.6g

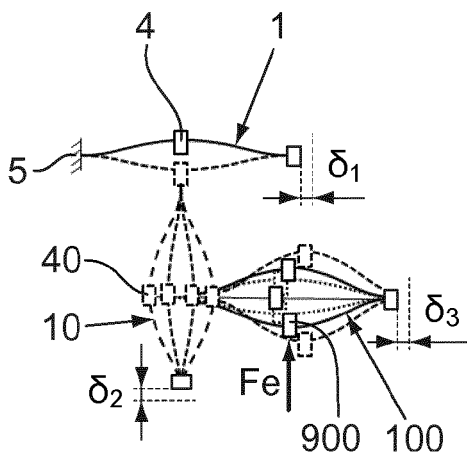


Fig.6h

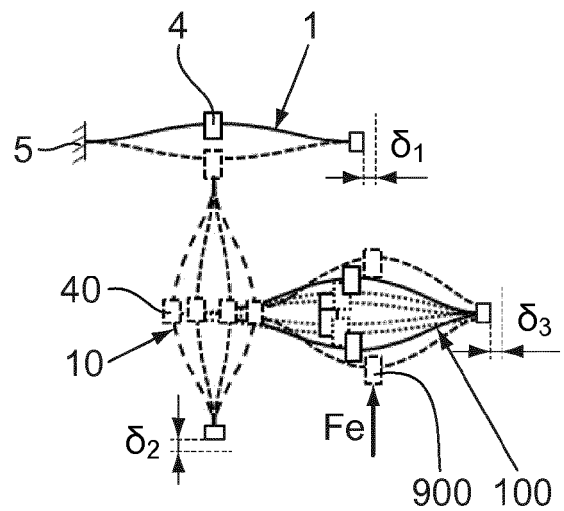


Fig.7

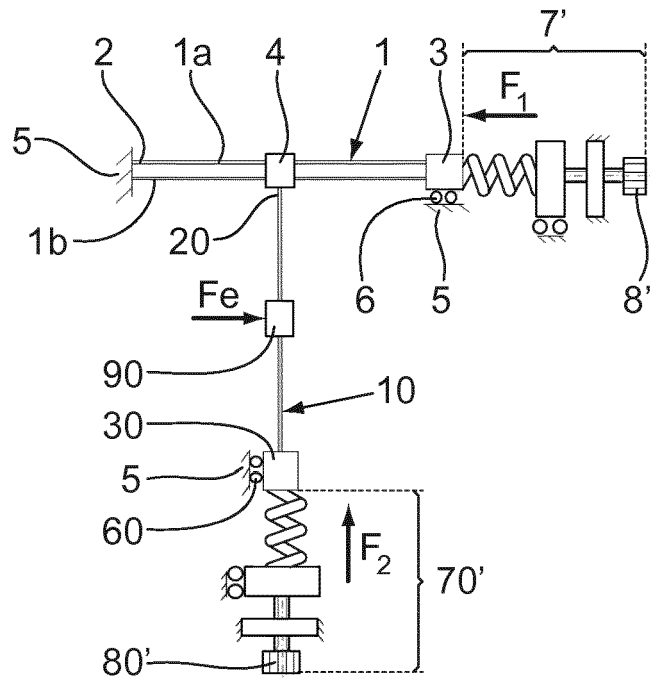


Fig.8

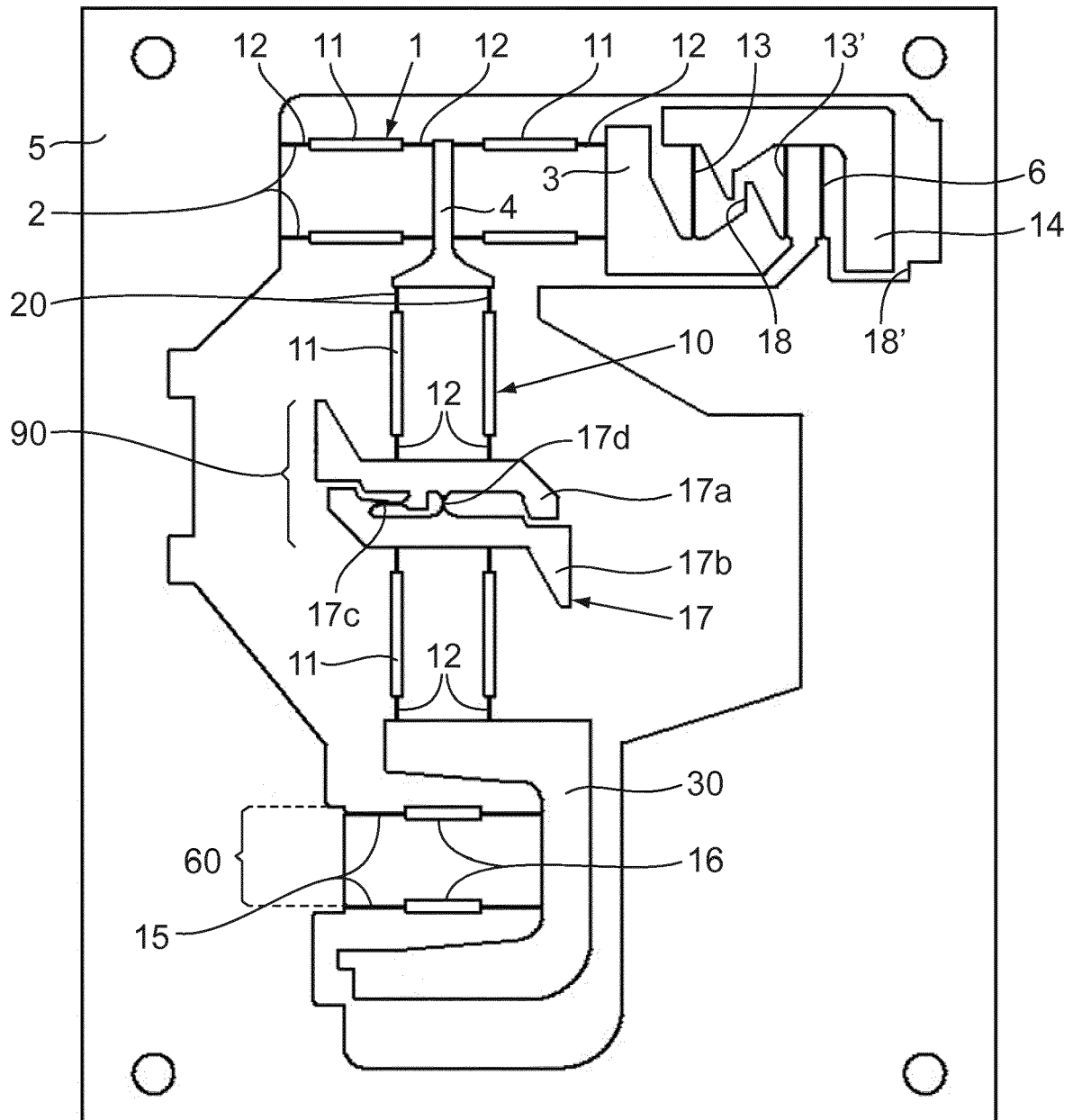


Fig.9

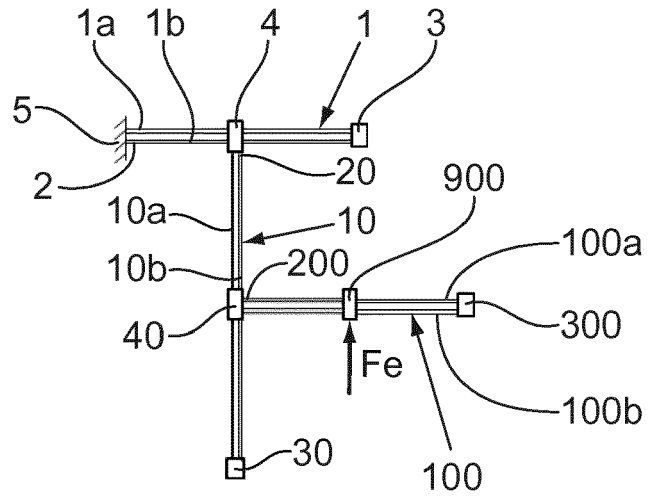


Fig.10

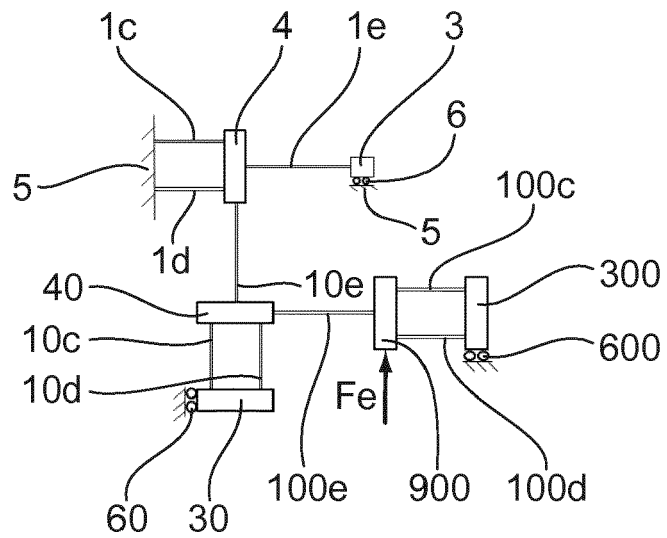


Fig.11

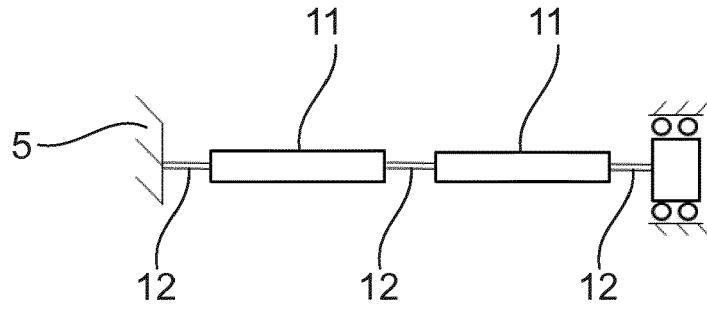
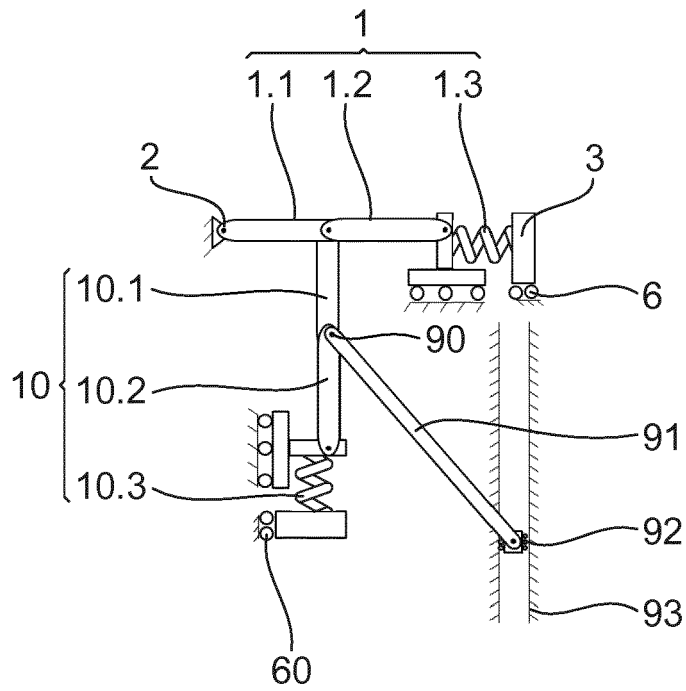


Fig.12





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 16 17 8012

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	Guimin Chen ET AL: "Synthesis of Compliant Multistable Mechanisms Through Use of a Single Bistable Mechanism", Journal of Mechanical Design, vol. 113 1 janvier 2011 (2011-01-01), pages 81007-1-81007-9, XP055334482, DOI: 10.1115/1.4004543 Extrait de l'Internet: URL:http://mechanicaldesign.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=1450639 [extrait le 2017-01-11]	1,3-9, 11-15	INV. B81B3/00 G04B31/00
A	* figures 6,12 *	2,10,16	
A	----- CN 102 157 277 B (UNIV DALIAN TECH) 8 mai 2013 (2013-05-08) * alinéas [0025] - [0030] *	1-16	
A	----- CN 101 837 947 A (UNIV XIDIAN) 22 septembre 2010 (2010-09-22) * page 2, lignes 6-10 *	1-16	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) B81B G04B
3 Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 31 janvier 2017	Examineur Cavallin, Alberto
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 03.02 (P04C02)

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

EP 16 17 8012

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.

31-01-2017

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
CN 102157277 B	08-05-2013	AUCUN	

CN 101837947 A	22-09-2010	AUCUN	

EPO FORM P0460

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