

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
24 août 2006 (24.08.2006)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2006/087463 A1**

(51) Classification internationale des brevets :  
F16C 32/04 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2006/000340

(22) Date de dépôt international :  
15 février 2006 (15.02.2006)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
0501514 15 février 2005 (15.02.2005) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : LEV-  
ISYS [FR/FR]; 7, rue Edouard Beaulieu, F-93110 Rosny-  
sous-Bois (FR).

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : SAINT-  
MLEUX, Michel [FR/FR]; 7, rue Edouard Beaulieu,  
F-93110 Rosny-sous-Bois (FR).

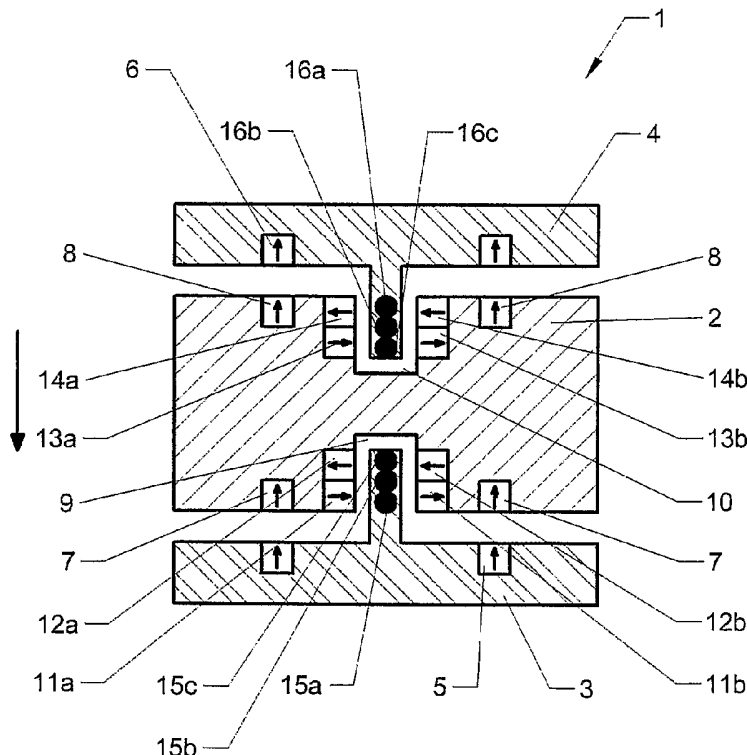
(74) Mandataire : CABINET GERMAIN & MAUREAU;  
39, rue de Liège, F-75008 Paris (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de  
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO,  
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,  
GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG,  
KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY,  
MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO,  
NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD FOR STABILISING A MAGNETICALLY LEVITATED OBJECT

(54) Titre : PROCEDE DE STABILISATION D'UN OBJET EN SUSTENTATION MAGNETIQUE



(57) Abstract: The invention relates to a method for stabilising a magnetically levitated object (2, 21, 31, 32, 52, 200) subjected to a constant magnetic field, said object being stable in at least one direction and unstable in at least one other direction. The inventive method is characterised in that it comprises a stabilisation step, which is repeated as often as required, and consists in applying an electrical current through at least one conductive element (15a to 16c, 27, 44, 62, 211) subjected to a secondary magnetic field in such a way as to generate a compensating Laplace force in the direction of instability. The invention also relates to a magnetic levitation device (1, 20, 30, 50) stabilised by the inventive method.

[Suite sur la page suivante]

WO 2006/087463 A1



SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés** (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

---

(57) **Abrégé :** La présente invention se rapporte, d'une part, à un procédé de stabilisation d'un objet (2, 21, 31, 32, 52, 200) en sustentation magnétique soumis à un champ magnétique constant, ledit objet étant stable selon au moins une direction et instable selon au moins une autre direction, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de stabilisation, répétée aussi souvent que nécessaire, consistant à appliquer un courant électrique à travers au moins un élément conducteur (15a à 16c, 27, 44, 62, 211) soumis à un champ magnétique secondaire de manière à générer une force de Laplace compensatrice dans la direction d'instabilité, et d'autre part, à un dispositif (1, 20, 30, 50) à sustentation magnétique stabilisé par le procédé selon l'invention.

## Procédé de stabilisation d'un objet en sustentation magnétique

La présente invention se rapporte à un procédé pour stabiliser un  
5 objet en sustentation magnétique, ainsi qu'à un dispositif à sustentation  
magnétique.

Les champs magnétiques peuvent être utilisés pour générer des  
forces dans divers actionneurs dont ils permettent un mouvement sans  
frottement et un fonctionnement sans bruit. Un tel moyen d'actionnement est  
10 utilisé lorsque les systèmes mécaniques classiques atteignent leurs limites et  
ne sont plus adaptés. Il s'agit plus particulièrement d'applications qui  
nécessitent de très hautes vitesses de rotation et pour lesquelles il est  
notamment nécessaire de minimiser les pertes par frottements, et/ou éviter  
l'usure, et/ou pour lesquelles il est impossible d'employer des lubrifiants.

15 Des exemples d'applications pour lesquels ces avantages sont tout  
particulièrement recherchés sont, entre autres, les volants d'inertie qui  
constituent des dispositifs permettant de stocker de l'énergie sous forme  
d'énergie cinétique dans une roue tournant à plusieurs milliers de tours par  
minute, et les trains à sustentation magnétique pour lesquels seuls les  
20 frottements de l'air subsistent et qui peuvent atteindre des vitesses très  
supérieures à 400 km/h.

La plupart des actionneurs magnétiques actuellement disponibles  
n'utilisent la sustentation magnétique que suivant un degré de liberté. C'est le  
cas d'un moteur électrique dans lequel seules les forces magnétiques  
25 permettant l'entraînement du rotor sont utilisées.

Dans le cas de la plupart de ces applications, il est particulièrement  
souhaitable de réduire au maximum les frottements existant de manière à  
diminuer les pertes d'énergie et la pollution sonore qu'ils engendrent, et il  
s'avère généralement nécessaire pour cela de devoir contrôler  
30 magnétiquement un objet selon plusieurs degrés de liberté.

Or, lorsque l'on cherche à maintenir un objet en sustentation totale  
par l'utilisation de champs magnétiques, c'est-à-dire présentant les six degrés  
de liberté dans l'espace, sa stabilisation se révèle particulièrement difficile. En  
1839, le scientifique S. Earnshaw a démontré qu'il était impossible de stabiliser  
35 une particule magnétiquement polarisée dans un champ statique. De ce fait, il  
est impossible de stabiliser un corps ferromagnétique en sustentation

magnétique à l'aide d'aimants permanents ou d'éléments ferromagnétiques. Plusieurs solutions permettant de contourner la loi d'Earnshaw ont toutefois été imaginées et sont actuellement utilisées pour stabiliser des objets en sustentation magnétique.

5 Une première solution consiste à utiliser un matériau diamagnétique. Un tel matériau, contrairement à un matériau ferromagnétique qui possède une aimantation permanente, développe un champ magnétique en réaction à un champ magnétique extérieur auquel il est soumis. Ce champ magnétique induit tend à s'opposer au champ magnétique extérieur en lui  
10 restant toujours anti-parallèle et, par conséquent, s'oppose en permanence aux variations de champs causées par l'objet en sustentation quand celui-ci s'écarte de sa position d'équilibre. Il existe donc une force de rappel qui maintient l'objet stable. C'est le cas de la sustentation magnétique à l'aide de supraconducteurs. Cette solution est toutefois difficile à mettre en œuvre car  
15 ces matériaux doivent généralement être refroidis à très basse température dans de l'azote liquide pour pouvoir atteindre l'état de supraconductivité. Par conséquent, cette méthode, bien que satisfaisante d'un point de vue théorique, demeure particulièrement délicate à mettre en pratique et nécessite des moyens cryogéniques très consommateurs en énergie.

20 Une deuxième solution consiste à utiliser des électroaimants. En effet, de la même manière qu'un matériau diamagnétique développe en permanence un champ magnétique opposé au champ magnétique extérieur auquel il est soumis, il est possible de modifier le champ développé par un électroaimant de manière à ce qu'il s'oppose à un écart de l'objet en  
25 sustentation par rapport à la position d'équilibre souhaitée. La loi d'Earnshaw n'est donc pas violée, la sustentation magnétique restant impossible si les électroaimants sont parcourus par des courants électriques constants et développent donc des champs magnétiques stables, mais contournée en ajustant les champs magnétiques développés par les électroaimants qui sont  
30 donc variables ainsi que les directions résultantes de ces champs.

Une troisième solution consiste à utiliser des champs alternatifs générés par des bobines. Les variations de champs génèrent des courants induits, appelés courants de Foucault, dans un objet conducteur, ceux-ci créant alors une force de répulsion qui peut être suffisante pour le soulever.

35 Ces deuxième et troisième solutions présentent toutefois des inconvénients majeurs en raison de la puissance électrique nécessaire pour

généraler des champs magnétiques suffisamment intenses à l'aide d'électroaimants et de bobines. Par ailleurs, la nécessité de contrôler en permanence le champ magnétique développé par les électroaimants exige la mise en place d'un système de commande complexe, également  
5 consommateur de courant électrique, qui doit posséder un temps de réponse extrêmement court. Cette contrainte est difficile à atteindre en raison de fonctions de transferts d'un tel système généralement non linéaires. Un tel mode de sustentation est dit actif, par opposition à une sustentation utilisant des aimants permanents, qui ne consomment pas d'énergie supplémentaire, et  
10 qui est donc appelée sustentation passive.

Il convient de mentionner une quatrième solution qui permet de maintenir un objet possédant une aimantation permanente en sustentation dans un champ également permanent. Cet objet est commercialisé sous la marque LEVITRON® et se présente sous la forme d'une toupie apte à se  
15 maintenir en sustentation dans un champ magnétique stable lorsqu'elle est mise en rotation. Contrairement aux apparences, cet objet ne viole pas la loi d'Earnshaw. En effet, l'instabilité inhérente à tout système en sustentation dans un champ stable est toujours présente, celle-ci étant toutefois compensée par un effet gyroscopique stabilisateur provenant de la rotation de la toupie.  
20 L'équilibre ainsi obtenu est cependant relativement instable et les conditions de stabilité sont particulièrement strictes. Ainsi, la masse de la toupie doit être très précisément ajustée, de même que sa vitesse de rotation et la direction du champ magnétique par rapport à la direction de la gravité.

Pour pallier plusieurs de ces inconvénients, il a été développé une  
25 cinquième solution reposant sur un système mixte utilisant à la fois des aimants permanents et des électroaimants, et qui permet ainsi de réduire légèrement la consommation électrique du système. Une telle sustentation est dite partiellement passive. Ainsi, on connaît une sustentation partiellement passive comprenant un rotor cylindrique en sustentation entre deux aimants  
30 permanents aux terres rares développant un champ de 1,1 teslas et assurant uniquement une stabilité radiale. En l'absence de stabilisation complémentaire, le système présente donc une forte instabilité axiale. Pour ce faire, chaque aimant permanent est associé à un électroaimant asservi afin d'assurer la stabilisation axiale du rotor autour d'une position d'équilibre moyen. L'utilisation  
35 d'aimants permanents permet, d'une part, d'avoir une fonction de transfert du système linéaire, et d'autre part, d'assurer un centrage par réluctance même si

les électroaimants ne sont pas alimentés, ces derniers n'étant utilisés que pour renforcer ou diminuer le champ permanent appliqué, et déplacer ainsi l'équilibre des forces s'appliquant sur le rotor. La consommation électrique d'un tel système reste toutefois relativement élevée et nécessite toujours la mise en  
5 place d'un capteur associé à un système d'asservissement complexe et rapide.

En raison de ces contraintes techniques et économiques, cette technologie n'est utilisée que dans le cadre d'applications très spécifiques pour lequel le coût énergétique n'entre presque pas en considération.

Une des principales applications actuelles de la sustentation  
10 magnétique sont les paliers magnétiques, notamment pour volants d'inertie et autres dispositifs en rotation. Les volants d'inertie sont utilisés pour stocker de l'énergie sous forme cinétique dans un volant en rotation dont l'axe est maintenu par des paliers magnétiques, afin de la restituer ensuite en cas de coupure de courant ou d'alimentation irrégulière. Lorsque la production  
15 électrique d'une éolienne, par exemple, est suffisante pour alimenter un système électrique, une partie de ce courant est utilisée pour entraîner le volant d'inertie au moyen d'un moteur-générateur et maintenir sa vitesse à plusieurs milliers de tours par minute. En cas de baisse de la production d'électricité par l'éolienne, la vitesse du volant d'inertie est transformée, grâce  
20 au même moteur-générateur fonctionnant alors en mode générateur, en électricité. Ceci permet d'assurer une alimentation électrique constante en attendant une rehausse de la production d'électricité. Afin d'optimiser le stockage de l'énergie, d'en minimiser les pertes par frottements, et de la restituer avec un rendement maximum sur la plus longue plage de temps  
25 possible, la sustentation du volant doit être très précisément contrôlée et doit consommer le moins de courant électrique possible pour contrôler cette sustentation. Comme expliqué précédemment, la plupart des solutions actuelles ne permettent pas d'atteindre ces objectifs, une sustentation à l'aide d'aimants permanents, ne consommant donc pas d'énergie électrique, est  
30 impossible du fait de la loi d'Earnshaw, tandis qu'une sustentation active nécessite notamment une énergie électrique trop importante. Ce problème peut également être appliqué aux trains à sustentation magnétique, pour lesquels le coût de fonctionnement, en plus d'un coût d'installation déjà élevé, est excessif par rapport à la rentabilité attendue, que la sustentation soit assurée à l'aide de  
35 bobines requerrant une alimentation électrique très importante, ou qu'elle

utilise des supraconducteurs devant généralement être maintenus dans un bain d'azote liquide.

La présente invention a pour but de remédier aux inconvénients précédemment évoqués, et consiste pour cela en un procédé de stabilisation d'un objet en sustentation magnétique soumis à au moins un champ magnétique constant, ledit objet étant stable selon au moins une direction et instable selon au moins une autre direction, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de stabilisation, répétée aussi souvent que nécessaire, consistant à appliquer un courant électrique à travers au moins un élément conducteur soumis à un champ magnétique secondaire de manière à générer une force de Laplace compensatrice dans la direction d'instabilité.

Ainsi, grâce à l'application d'une force de Laplace compensatrice, il est possible de compenser facilement les instabilités magnétiques inhérentes au système tout en minimisant sa consommation électrique.

En effet, un objet dans un champ magnétique stable possède une énergie potentielle de type harmonique, dont le Laplacien, somme des dérivées partielles secondes par rapport aux coordonnées spatiales, est nul. De ce fait, les dérivées partielles secondes de l'énergie potentielle par rapport à chacune des coordonnées spatiales ne peuvent toutes être négatives, comme le voudrait un équilibre parfaitement stable. Par conséquent, il existe toujours au moins une coordonnée par rapport à laquelle la dérivée partielle seconde est positive, donc pour laquelle il n'y a pas de position d'équilibre stable. Il a été constaté de manière surprenante que l'application d'une force de Laplace, dont le potentiel est quadratique, dans la direction de l'instabilité permet de conférer au système une énergie potentielle pour laquelle il existe des points de stabilité. De ce fait, il n'est plus nécessaire de recourir à des électroaimants puissants pour stabiliser un tel système et la consommation électrique globale s'en trouve considérablement réduite.

Le champ magnétique permettant la mise en sustentation de l'objet pourra être généré par une ou plusieurs sources de champ magnétique selon la géométrie de l'objet. En effet, l'utilisation d'au moins deux sources magnétiques pour créer un champ magnétique selon la direction souhaitée peut s'avérer nécessaire afin de renforcer la stabilité de l'objet.

Avantageusement, l'étape de stabilisation vise à maintenir l'objet entre une borne supérieure et une borne inférieure autour d'une position d'équilibre moyen souhaité. En effet, selon le degré de stabilité souhaité il sera

nécessaire d'exercer une force de Laplace plus ou moins importante. Plus l'équilibre doit être maintenu de manière très précise, plus il est nécessaire de compenser les instabilités du système en appliquant des forces compensatrices plus importantes. De manière avantageuse, on pourra prendre  
5 une force de Laplace assurant environ 10% de la portance totale nécessaire à la mise en sustentation de l'objet, les 90% restant étant assurés par les aimants permanents.

Avantageusement encore, le procédé selon l'invention comprend une étape de détection de la position de l'objet apte à commander et/ou  
10 interrompre le passage du courant électrique à travers l'élément conducteur. Ainsi, le courant électrique n'est appliqué que lorsque cela est nécessaire pour ramener l'objet vers sa position d'équilibre moyen, ce qui diminue encore la consommation. En acceptant une légère oscillation autour d'un point d'équilibre moyen souhaité, il est possible de réduire encore la consommation électrique  
15 du système.

La présente invention se rapporte également à un dispositif à sustentation magnétique comprenant un objet en sustentation soumis à au moins un champ magnétique constant en interaction avec des moyens d'aimantation correspondants de l'objet lévité, caractérisé en ce qu'il  
20 comprend, d'une part, des éléments magnétiques secondaires aptes à générer un champ magnétique secondaire, et d'autre part, au moins un élément conducteur soumis au champ magnétique secondaire, de façon à ce qu'une force de Laplace compensatrice soit générée sur l'objet lévité, lorsque l'élément conducteur est traversé par un courant électrique.

Il convient de noter que par moyens d'aimantation correspondants, on entend tout matériau sensible à un champ magnétique environnant. De tels matériaux sont bien sûrs les aimants, réagissant à un autre aimant, mais également les matériaux ferromagnétiques, non aimantés en soi mais s'orientant magnétiquement lorsque placés dans un champ magnétique.

Il doit être bien compris que le champ magnétique constant est généré par au moins une source de champ, la source de champ magnétique et les moyens d'aimantation correspondants pouvant être intervertis de manière telle que la source de champ est située sur l'objet et interagit avec un moyen d'aimantation correspondant externe.

De manière préférentielle, le champ magnétique développe, avec les moyens d'aimantation correspondants, une force d'attraction s'exerçant sur



l'objet lévité Il est également possible que le champ magnétique développe, avec les moyens d'aimantation correspondants, des forces d'attraction et des forces de répulsion s'exerçant sur l'objet lévité.

Selon une variante de réalisation, le champ magnétique est généré  
5 par au moins deux sources de champ magnétique, les sources de champ magnétique et les moyens d'aimantation correspondants de l'objet lévité possédant une orientation magnétique parallèle et de même sens. Il s'agira, par exemple, dans le cas d'un système à symétrie de révolution de disposer deux bagues d'aimant permanent concentriques en interaction, l'une des  
10 bagues étant solidaire d'un stator, tandis que l'autre bague est solidaire de l'objet lévité, par exemple d'un rotor.

Préférentiellement, l'élément conducteur est une bobine. De manière générale, un élément conducteur en argent sera préféré, ce métal étant un des meilleurs conducteurs actuellement connus. Il pourra également  
15 être envisagé d'utiliser des nanotubes de carbone. Bien évidemment l'intensité de la force de Laplace développé pourra varier en fonction d'un rapport de forme de la bobine, ce rapport de forme étant de préférence défini de manière à rendre la force de Laplace maximum dans la direction contribuant à la stabilité pour un courant électrique minimum dans la bobine.  
20 Avantageusement, la bobine est large et de faible épaisseur.

Préférentiellement encore, les sources de champ magnétique et/ou les moyens d'aimantation complémentaire et/ou les éléments magnétiques secondaires sont des aimants permanents. Avantageusement, les aimants permanents sont des aimants à base de néodyme fer bore. Avantageusement  
25 encore, les aimants sont disposés selon une configuration dite de Halbach, de manière à obtenir à la fois un champ principal maximum et des champs parasites minimums.

Selon une variante de réalisation, les éléments magnétiques secondaires interagissent avec au moins un matériau ferromagnétique  
30 conformé de façon à permettre la réorientation du champ magnétique secondaire.

De manière préférentielle, le dispositif comprend au moins un capteur apte à commander ou interrompre le passage du courant à travers l'élément conducteur en fonction de la position de l'objet lévité. Ainsi, il n'est  
35 pas nécessaire d'alimenter l'élément conducteur en permanence, ce qui permet de réduire encore la consommation électrique du système. Le courant

dans l'élément conducteur peut être également commandé par un circuit d'asservissement de type tout-ou-rien, proportionnel, intégral ou dérivé, ou toute combinaison de ceux-ci en fonction de la position de l'objet lévité.

Avantageusement, le capteur comprend une pointe solidaire de  
5 l'objet lévité et apte à venir au contact d'un interrupteur pour le fermer.

La mise en œuvre de l'invention sera mieux comprise à l'aide de la description détaillée qui est exposée ci-dessous en regard du dessin annexé dans lequel :

La figure 1 est une représentation schématique en coupe  
10 longitudinale d'un premier mode de réalisation d'un volant d'inertie stabilisé axialement selon le procédé de l'invention.

La figure 2 est une représentation schématique en coupe  
longitudinale d'un deuxième mode de réalisation d'un volant d'inertie stabilisé radialement selon le procédé de l'invention.

La figure 3 est une représentation schématique en coupe  
15 longitudinale d'un troisième mode de réalisation d'un volant d'inertie stabilisé axialement selon le procédé de l'invention.

La figure 4 est une représentation schématique en coupe  
longitudinale d'un quatrième mode de réalisation d'un volant d'inertie stabilisé  
20 selon l'invention, et utilisant du fer doux pour réorienter les champs magnétiques.

La figure 5 est une vue du dessus en coupe du volant d'inertie de la  
figure 4.

Les figures 6 et 7 montrent deux variantes de réorientation de  
25 champ magnétique à l'aide de fer doux.

La figure 8 est une représentation schématique d'un premier mode  
de réalisation d'un détecteur d'instabilité.

La figure 9 est une représentation schématique d'un deuxième  
mode de réalisation d'un détecteur d'instabilité.

La figure 10 est une vue du dessus du capteur de la figure 9.  
30

La figure 11 est une représentation schématique d'une variante  
d'application du procédé de stabilisation selon l'invention à un train à  
sustentation magnétique.

Un volant d'inertie 1, tel que représenté à la figure 1, comprend un  
35 volant 2 cylindrique en sustentation magnétique entre une source magnétique inférieure 3 et une source magnétique supérieure 4. Chaque source

magnétique 3, 4 comporte respectivement un aimant circulaire 5, 6 faisant face à un aimant 7, 8 circulaire correspondant du volant 2.

Par ailleurs, le volant 2 présente une cavité inférieure 9 centrale et une cavité supérieure 10 centrale. La cavité inférieure 9 abrite deux paires d'aimants additionnels 11a, 11b, 12a, 12b superposées, le champ magnétique radial développé par l'une des deux paires d'aimants additionnels 11a, 11b, 12a, 12b étant opposé au champ développé par l'autre paire d'aimants additionnels 12a, 12b, 11a, 11b. De la même manière, la cavité supérieure 10 abrite deux paires d'aimants additionnels 13a, 13b, 14a, 14b superposées.

La cavité inférieure 9 et la cavité supérieure 10 sont chacune destinées à recevoir respectivement un ensemble de fils conducteurs 15a, 15b, 15c, 16a, 16b, 16c solidaires de la source magnétique 3, 4 correspondante et disposés perpendiculairement à l'axe du volant 2. Chaque ensemble de fils conducteurs 15a, 15b, 15c, 16a, 16b, 16c est relié à un circuit d'alimentation électrique (non représenté).

L'orientation des pôles des aimants circulaires 5 à 8 est choisie de manière à ce que les aimants circulaires 5, 7, d'une part, et 6, 8, d'autre part, développent respectivement entre eux une force magnétique d'attraction. Les puissances des aimants circulaires 5 à 8 sont choisies de manière à ce que la force d'attraction tendant à rapprocher le volant 2 de la source supérieure 4 soit en équilibre avec la force d'attraction tendant à rapprocher le volant 2 de la source inférieure 3 augmentée de la force exercée par la gravité (symbolisée par une flèche), c'est-à-dire le poids du volant 2.

Par ailleurs, les aimants 5, 6 exercent sur le volant 2 une force de centrage importante, ceux-ci tendant à aligner l'axe magnétique des aimants correspondants 7, 8 avec le leur. Cette force de centrage est suffisante pour stabiliser radialement le volant.

Conformément à la loi d'Earnshaw, le volant 2 en sustentation entre la source inférieure 3 et la source supérieure 4 ne peut être stable. En effet, la force de centrage des aimants 5 à 8 disposés en attraction étant particulièrement importante, celle-ci confère au volant 2 une stabilité radiale et impose une instabilité axiale. Ainsi en l'absence de toute régulation de champ complémentaire, le volant 2 a naturellement tendance à venir au contact de la source magnétique inférieure 3 ou de la source magnétique supérieure 4.

La stabilité axiale est assurée grâce aux interactions entre chacun des aimants additionnels 11a à 14b et les ensembles de fils conducteurs 15a à

16c correspondants. En effet, lorsqu'un conducteur soumis à un champ magnétique perpendiculaire est parcouru par un courant électrique, il subit une force de Laplace formant, avec les vecteurs courant et champ, un repère ortho normal direct.

5           Ainsi, chacun des ensembles de fils conducteurs 15a à 16c parcourus par un courant électrique interagit avec les aimants additionnels 11a à 14b correspondants. En l'espèce, l'orientation des paires d'aimants additionnels 11a à 14b et le sens du courant électrique parcourant les fils conducteurs 15a à 16c sont choisis de manière à ce que lorsque le volant 2 se  
10 se rapproche de la source inférieure 3, la force de Laplace générée soit dirigée axialement et tende à éloigner le volant 2 de la source inférieure 3. Respectivement, lorsque le volant 2 se rapproche de la source supérieure 4, la force de Laplace générée doit être dirigée axialement et tendre à éloigner le volant 2 de la source supérieure 4.

15           Selon la disposition de la figure 1, lorsque le volant 2 est à l'équilibre, une moitié des fils conducteurs 15a à 16c est soumise au champ magnétique radial des paires d'aimants additionnels 11a, 11b, 14a, 14b, tandis qu'une autre moitié des fils conducteurs 15a à 16c est soumise au champ magnétique radial des paires d'aimants additionnels 12a, 12b, 13a, 13b, de  
20 même direction mais de sens opposé au champ des paires d'aimants additionnels 11a, 11b, 14a, 14b. La force de Laplace résultant de cette double influence est donc nulle. En l'espèce, il a été considéré pour l'exemple que la puissance des aimants additionnels 11a à 14b était la même et que les fils conducteurs 15a à 16c étaient parcourus par la même intensité électrique. Il  
25 est toutefois bien évidemment possible d'obtenir un tel équilibre avec des aimants de puissance d'aimants et des intensités électriques différentes.

Cependant, comme expliqué, le volant 2 est axialement instable et a tendance à se rapprocher soit de la source inférieure 3, soit de la source supérieure 4. Lorsque le volant 2 se rapproche de la source inférieure 3, les fils  
30 conducteurs 15a à 15c sont alors principalement soumis au champ magnétique de la paire d'aimants additionnels 12a, 12b, tandis que les fils conducteurs 16a à 16c sont principalement soumis au champ magnétique de la paire d'aimants additionnels 13a, 13b de même orientation magnétique que la paire d'aimants additionnels 12a, 12b. Le sens du courant électrique parcourant les fils  
35 conducteurs 15a à 16c est choisi de manière à ce que s'exerce sur le volant 2 une force de Laplace tendant à éloigner le volant 2 de la source inférieure 3

vers la source supérieure 4. Il convient de noter que ce cas est également applicable au volant avant sa mise en sustentation, la force de Laplace ainsi créée participant à son décollage de la source magnétique inférieure 3.

De la même manière, lorsque le volant 2 se rapproche de la source supérieure 4, l'ensemble des fils conducteurs 15a à 15c est principalement soumis au champ de la paire d'aimants additionnels 11a, 11b tandis que les fils conducteurs 16a à 16c sont principalement soumis au champ de la paire d'aimants additionnels 14a, 14b de même orientation magnétique. L'orientation magnétique des paires 11a, 11b et 14a, 14b étant opposée à celle des paires 12a, 12b, d'une part, et 13a, 13b, d'autre part, la force de Laplace résultante possède donc un sens opposé et tend à éloigner le volant 2 de la source supérieure 4 pour le ramener vers sa position d'équilibre instable initiale.

De ce fait, le volant 2 est stabilisé axialement sans utiliser aucun capteur ni aucun système de régulation du courant électrique et oscille de part et d'autre d'une position d'équilibre moyen. Les expériences ont montré que l'intensité du courant électrique nécessaire pour stabiliser un volant 2 possédant une masse de 2,4 kg est d'environ 15 milliampères seulement.

Un volant d'inertie 20, tel que représenté sur la figure 2, comprend un volant 21 se distinguant du volant 2 principalement par le fait qu'il est soumis à une source magnétique inférieure 3a comprenant un aimant 5a circulaire interagissant avec un aimant 7a circulaire correspondant du volant 21, de manière à développer entre eux une force répulsive s'opposant à la chute du volant 21 par gravité (symbolisée par une flèche). A l'inverse du volant 2 du volant d'inertie 1, le volant 21 est stable axialement mais présente une instabilité radiale, la source magnétique inférieure 3 tendant à repousser latéralement le volant 21. De ce fait, le volant 21 doit donc être stabilisé radialement grâce au procédé selon l'invention.

Pour ce faire, le volant 21 comprend une gorge 22 latérale périphérique comprenant des aimants additionnels supérieurs 23, 24 circulaires adjacents et inférieurs 25, 26, également circulaires et adjacents, ladite gorge latérale 22 étant destinée à recevoir un ensemble de fils conducteurs 27a, 27b, 27c formant des spires d'une bobine 27 parcourue par un courant électrique constant. Les aimants additionnels 23 et 25 sont situés en regard l'un de l'autre et possèdent une orientation magnétique identiques. Les aimants additionnels 24 et 26 sont également situés en regard l'un de l'autre et possèdent une

orientation magnétique identique mais opposée à l'orientation magnétique des aimants additionnels 23, 25.

Comme pour le volant d'inertie 1, lorsque le volant 20 est à l'équilibre, la bobine 27 possède autant de spires soumises au champ magnétique des aimants additionnels 23, 25 que de spires soumises au champ magnétique des aimants additionnels 24, 26, et la force de Laplace résultante est donc nulle. Lorsque le volant 21 s'écarte radialement, la bobine 27 est, dans la direction dans laquelle le volant 21 s'écarte et quelle que soit cette direction, principalement soumise au champ magnétique des aimants additionnels 24, 26, tandis que dans la direction diamétralement opposée, ladite bobine 27 est principalement soumise au champ magnétique des aimants additionnels 23, 25 opposé à celui des aimants additionnels 24, 26. Le sens du courant parcourant la bobine 27 dans la direction selon laquelle le volant 21 s'écarte, étant opposé à celui de la direction diamétralement opposée, la force de Laplace générée de part et d'autre du volant 21 possède une direction et un sens identique. Le sens du courant parcourant la bobine 27 et l'orientation des aimants additionnels 23 à 26 sont choisis de manière à ce que la force de Laplace s'exerçant selon la direction dans laquelle le volant 21 s'écarte soit centripète, rappelant ainsi le volant 21 vers sa position d'équilibre, la force de Laplace correspondant s'exerçant diamétralement à l'opposé étant alors centrifuge.

Ainsi, le volant 21 est stabilisé radialement et oscille autour de son axe.

La figure 3 montre un troisième mode de réalisation d'un volant d'inertie stabilisé selon le procédé de l'invention. Ce volant d'inertie 30 comprend un volant 31 cylindrique possédant un axe 32 et mis en sustentation magnétique entre une source magnétique inférieure 33 et une source magnétique supérieure 34. Chaque source magnétique comporte un aimant 35, 36 annulaire traversé par l'axe 32, les aimants 35, 36 possédant une orientation magnétique axiale et interagissant chacun avec un aimant 37, 38 concentrique correspondant situé sur l'axe 32 du volant 31 à la même hauteur que lesdits aimants 35, 36.

L'orientation des aimants 35 à 38 est choisie identique, les aimants 35, 37, d'une part, et 36, 38, d'autre part, développant respectivement entre eux une force magnétique opérant un centrage de l'axe 32. Le volant 31 est

donc stable radialement et présente une instabilité axiale stabilisée par le procédé selon l'invention.

Pour ce faire, le volant 31 présente une gorge 39 périphérique supérieure abritant deux aimants additionnels extérieurs 40,41 circulaires superposés et deux aimants additionnels intérieurs 42, 43 superposés, ladite gorge 39 étant destinée à recevoir un ensemble de fils conducteurs 44a, 44b, 44c formant des spires d'une bobine 44 parcourue par un courant électrique constant. Les aimants additionnels 40 et 42 sont concentriques et possèdent une orientation magnétique identique. Les aimants additionnels 41 et 43 sont également concentriques et possèdent une orientation magnétique identique mais opposée à l'orientation magnétique des aimants additionnels 40, 42.

Comme pour les volants d'inertie 1 et 20, lorsque le volant 30 est à l'équilibre, la bobine 44 possède autant de spires soumises au champ magnétique des aimants additionnels 40, 42 que de spires soumises au champ magnétique des aimants additionnels 41, 43, et la force de Laplace résultante est donc nulle. Lorsque le volant 30 s'écarte axialement et se rapproche de la source magnétique inférieure 33, la bobine 44 est alors principalement soumise au champ magnétique des aimants additionnels 41, 43. L'orientation des aimants additionnels 41, 43 et le sens du courant électrique parcourant la bobine 44 sont choisis de manière à ce que la force de Laplace générée tende à éloigner le volant 30 de la source inférieure 33 et le ramène vers sa position d'équilibre instable initiale. De la même manière, lorsque le volant 30 se rapproche de la source magnétique supérieure 34, la bobine 44 est alors principalement soumise au champ magnétique des aimants additionnels 40, 42. L'orientation des aimants additionnels 40, 42 étant opposée à l'orientation des aimants 41, 43, la force de Laplace générée tend à éloigner le volant 30 de la source supérieure 34 et le ramène vers sa position d'équilibre instable initiale.

Ainsi, le volant 30 est stabilisé axialement et oscille autour d'une position d'équilibre moyen.

En variante il est possible d'utiliser moins d'aimants et d'en contrôler l'orientation du champ à l'aide de fer doux. Un volant d'inertie 50, tel que représenté à la figure 4, en constitue un exemple de réalisation.

Ce volant d'inertie 50 comprend un volant 52 cylindrique en sustentation magnétique entre une source magnétique inférieure 53 et une source magnétique supérieure 54. Chaque source magnétique 53, 54

comporte respectivement un aimant circulaire 55, 56 faisant face à un aimant 57, 58 circulaire correspondant du volant 52.

Par ailleurs, le volant 52 présente une gorge 59 annulaire centrale dont le centre abrite un aimant additionnel 60 développant un champ magnétique axial, ladite gorge 59 présentant des parois recouvertes d'une  
5 couche de fer doux 61 pour réorienter le champ magnétique de l'aimant additionnel 60 selon une direction radiale. D'autres dispositions de fer doux au voisinage d'aimants additionnels sont représentées aux figures 6 et 7.

La gorge 59 est destinée à recevoir un ensemble de fils  
10 conducteurs 62a, 62b, 62c formant une bobine 62 solidaire de la source magnétique supérieure 64, la bobine 62 possédant un axe qui se confond avec l'axe du volant 52. La bobine 62 est reliée à un circuit d'alimentation électrique (non représenté).

Comme pour le volant d'inertie 1, l'orientation magnétique des  
15 aimants 55 à 58 est choisie de manière à ce que les aimants 55, 57, d'une part, et 56, 58, d'autre part, développent respectivement entre eux une force magnétique d'attraction. Les puissances des aimants 55 à 58 sont choisis de manière à ce que la force d'attraction tendant à rapprocher le volant 52 de la source supérieure 54 soit en équilibre avec la force d'attraction tendant à  
20 rapprocher le volant 52 de la source inférieure 53 augmentée de la force exercée par la gravité (symbolisée par une flèche), c'est-à-dire le poids du volant 52.

La stabilité axiale est assurée grâce aux interactions entre la bobine 62 et le champ magnétique développé par l'aimant additionnel 60 en  
25 générant une force de Laplace complémentaire.

Selon la disposition des figures 4 et 5, lorsque le volant 52 est à l'équilibre, aucune force de Laplace n'est générée et la bobine 62 n'est pas alimentée. Lorsque le volant 52 se rapproche de la source inférieure 53, on applique un courant électrique aux bornes de la bobine 62 dont le sens est  
30 choisi de manière à générer une force de Laplace dirigée axialement et tendant à éloigner le volant 52 de la source inférieure 53 pour le ramener vers sa position d'équilibre instable initiale. Lorsque le volant 52 se rapproche de la source supérieure 54, il est nécessaire de générer une force de Laplace tendant à éloigner le volant 52 de la source supérieure 54. Pour ce faire, le  
35 champ magnétique de l'aimant additionnel agissant sur la bobine 62 étant



constant, il est nécessaire d'inverser le sens du courant parcourant ladite bobine 62.

En complément de ce dispositif, il est donc nécessaire de prévoir un capteur permettant de détecter si le volant 52 s'approche de la source inférieure 53 ou de la source supérieure 54 de manière à appliquer du courant selon le sens souhaité lorsque nécessaire. Contrairement aux dispositifs précédents, pour lesquels aucun capteur n'est nécessaire mais dans lesquels les conducteurs électriques sont alimentés en permanence, la bobine 62 du volant d'inertie 60 n'a pas besoin d'être alimentée en permanence, ce qui réduit encore la consommation électrique du dispositif. Elle nécessite en revanche le couplage du circuit d'alimentation à un capteur.

Des exemples de capteurs sont représentés aux figures 8 à 10.

La figure 8 représente un capteur 100 mécanique comprenant une pointe 101 possédant une pointe extrêmement fine et solide se terminant par une bille de très petit diamètre (inférieur à 1 mm) en matériau très dur, ladite pointe étant destinée à être fixée au centre du volant 52. Un interrupteur 102 comprenant deux lames 103, 104 conductrices, cette dernière étant fixe et solidaire du bâti du volant d'inertie. Ces deux lames 103, 104 sont reliées à l'alimentation électrique. Plus précisément, la lame 103 est destinée à être en contact avec la pointe 101 et comprend à cette fin une plaque 105 extrêmement dure en rubis. Lorsque, sous l'effet de la force de Laplace, le volant 52 se rapproche de la source supérieure 53, la pointe vient exercer une force très faible (quelques centaines de milligrammes) contre la plaque 105 et pousse la lame 103 au contact de la lame 104, ce qui ferme le circuit électrique et permet le passage du courant. Cela a pour effet de supprimer la force de Laplace et le volant 52 redescend alors et s'éloigne de la source supérieure 54, ce qui éloigne la pointe 101 et rouvre le circuit électrique, avec pour effet de rétablir la force de Laplace. Il en va de même, avec un deuxième capteur, pour la source inférieure 53. Ce type de fonctionnement fait que le volant 52 oscille sur une très faible amplitude de part et d'autre du point d'équilibre métastable d'Earnshaw ou très près de ce point, ce qui permet de limiter à des valeurs très faibles la puissance de lévitation, compte tenu de la masse du volant 52.

Les figures 9 et 10 représentent un capteur 110 comprenant une boucle magnétique inférieure 111 et une boucle magnétique supérieure 112 située respectivement au dessus et en dessous du passage de deux aimants 114, 115 solidaires du volant 52 et pouvant avoir une orientation magnétique

opposée. Il est bien évidemment possible de disposer à intervalles réguliers plusieurs aimants semblables aux aimants 114, 115 sur la périphérie du volant 52, en alternant éventuellement leurs orientations magnétiques. Lorsque le volant est en rotation, les boucles magnétiques inférieure 111 et supérieure 5 112 sont soumises à un champ alternatif induisant des courants électriques alternatifs en opposition de phase dans lesdites boucles 111, 112. Ces courants induits sont additionnés par un comparateur 116 et le courant résultant est dirigé vers la bobine 62 pour l'alimenter. Il est éventuellement possible d'y ajouter un amplificateur opérationnel si les forces électromotrices 10 induites sont insuffisantes. En effet, lorsque le volant 52 se rapproche de la source supérieure 54, la boucle magnétique supérieure 112 est soumise à un champ magnétique plus fort que la boucle magnétique inférieure 111, et génère donc une force électromotrice induite plus grande, la somme des forces électromotrices induites est donc en faveur de la boucle supérieure 112 et la 15 bobine 62 est alimentée par un courant circulant dans le sens correspondant. A l'inverse lorsque le volant 52 se rapproche de la source inférieure 53, la boucle magnétique supérieure 112 est soumise à un champ magnétique moins fort que la boucle magnétique inférieure 111, et génère donc une force électromotrice induite moins intense, la somme des forces électromotrices 20 induites est donc en faveur de la boucle inférieure 111 et la bobine 62 est alimentée par un courant circulant dans le sens inverse du précédent et génère une force de Laplace inversée.

Il convient de noter que les exemples cités décrivent des bobines ou fils conducteurs solidaires des sources supérieures et/ou inférieures tandis 25 que les volants comprennent des aimants additionnels. Il est bien évident que cette disposition peut être inversée, la bobine ou les fils conducteurs étant intégrés au volant, tandis que les aimants additionnels sont intégrés aux sources supérieures et/ou inférieures, et que l'alimentation de la bobine ou des fils conducteurs est réalisée à l'aide d'un générateur interne au volant. 30 Toutefois ce mode de réalisation est plus difficile à mettre en œuvre et on préférera les dispositions telles que décrites précédemment.

La figure 11 montre une variante d'application du procédé selon l'invention à un train 200 à sustentation magnétique. Ce train 200 est mis en sustentation entre un rail inférieur 201 et un rail supérieur 202 au moyen 35 d'aimants 203, 204 coopérant chacun avec un aimant 205, 206 du train de manière à ce que l'aimant 203 du rail inférieur 201 développe avec l'aimant 205

correspondant du train 200 une force de répulsion, tandis que l'aimant 204 du rail supérieur 202 développe avec l'aimant 206 correspondant du train 200 une force d'attraction. Conformément à la loi d'Earnshaw, le train est instable latéralement et doit être stabilisé à l'aide du procédé selon l'invention. Pour ce faire, le train 200 est équipé de rails latéraux 207 en fer doux comprenant un aimant additionnel 208 possédant une magnétisation verticale. Ce rail 207 est destiné à recevoir un rail complémentaire 209 fixe, solidaire d'une voie 210 le long de laquelle le train se déplace. Ce rail complémentaire 209 est parcouru de fils conducteurs 211 alimentés en courant électrique et soumis au champ magnétique développé par l'aimant additionnel 208. Il est donc possible de générer une force de Laplace s'exerçant sur le train 200 et permettant de corriger ses instabilités magnétiques.

Il convient de noter qu'un des avantages principaux du procédé et dispositif objet de l'invention réside dans le fait qu'il ne fonctionne pas par modification des champs magnétiques de portance et de positionnement et que la position de l'objet lévité se situe au point d'équilibre métastable de Earnshaw ou très près de ce point, ce qui permet de limiter à des valeurs extrêmement faible la puissance de lévitation compte tenu de l'importance de la masse de l'objet lévité.

Bien que l'invention ait été décrite en liaison avec des exemples particuliers de réalisation, il est bien évident qu'elle n'y est nullement limitée et qu'elle comprend tous les équivalents techniques des moyens décrits ainsi que leurs combinaisons si celles-ci entrent dans le cadre de l'invention.

## REVENDEICATIONS

1. Procédé de stabilisation d'un objet (2, 21, 31, 32, 52, 200) en  
5 sustentation magnétique soumis à au moins un champ magnétique constant,  
ledit objet étant stable selon au moins une direction et instable selon au moins  
une autre direction, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de stabilisation,  
répétée aussi souvent que nécessaire, consistant à appliquer un courant  
10 électrique à travers au moins un élément conducteur (15a à 16c, 27, 44, 62,  
211) soumis à un champ magnétique secondaire de manière à générer une  
force de Laplace compensatrice dans la direction d'instabilité.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'étape  
de stabilisation vise à maintenir l'objet (2, 31, 32, 52, 200) entre une borne  
15 supérieure et une borne inférieure autour d'une position d'équilibre moyen  
souhaité.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2,  
caractérisé en ce qu'il comprend une étape de détection de la position de  
20 l'objet (2, 21, 31, 52, 200) apte à commander et/ou interrompre le passage du  
courant électrique à travers l'élément conducteur (15a à 16c, 27, 44, 62, 211).

4. Dispositif (1, 20, 30, 50) à sustentation magnétique comprenant  
un objet (2, 21, 31, 32, 52, 200) en sustentation soumis à au moins un champ  
25 magnétique constant apte à interagir avec des moyens d'aimantation  
correspondants (7, 8, 7a, 37, 38, 57, 58, 205, 206) de l'objet lévité, caractérisé  
en ce qu'il comprend, d'une part, des éléments magnétiques secondaires (11a  
à 14b, 23 à 26, 40 à 43, 60 à 62, 207, 208) aptes à générer un champ  
magnétique secondaire, et d'autre part, au moins un élément conducteur (15a  
30 à 16c, 27, 44, 62, 211) soumis au champ magnétique secondaire, de façon  
à ce qu'une force de Laplace compensatrice soit générée sur l'objet lévité,  
lorsque l'élément conducteur est traversé par un courant électrique.

5. Dispositif (1, 20, 50) selon la revendication 4, caractérisé en ce  
35 que le champ magnétique développe, avec les moyens d'aimantation (7, 8, 57,

58, 206) correspondants, une force d'attraction s'exerçant sur l'objet (2, 21, 52, 200) lévité.

5 6. Dispositif (30) selon la revendication 4, caractérisé en ce que le champ magnétique est généré par au moins deux sources (33, 34) de champ magnétique, les sources de champ magnétique et les moyens d'aimantation (37, 38) complémentaires de l'objet lévité (31, 32) possèdent une orientation magnétique parallèle et de même sens.

10 7. Dispositif (20, 30, 50) selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, caractérisé en ce que l'élément conducteur est une bobine.

15 8. Dispositif (1, 20, 30, 50) selon l'une quelconque des revendications 4 à 7, caractérisé en ce que les sources (3, 4, 3a, 33, 34, 53, 54, 201, 202) de champ magnétique et/ou les moyens d'aimantation complémentaires (7, 8, 7a, 37, 38, 57, 58, 205, 206) et/ou les éléments magnétiques secondaires (11a à 14b, 23 à 26, 40 à 43, 60 à 62, 207, 208) sont des aimants permanents.

20 9. Dispositif (50) selon l'une quelconque des revendications 4 à 8, caractérisé en ce que les éléments magnétiques secondaires (60) interagissent avec au moins un matériau ferromagnétique (61, 62) conformé de façon à permettre la réorientation le champ magnétique secondaire.

25 10. Dispositif (50) selon l'une quelconque des revendications 4 à 9, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un capteur (100, 110) apte à commander ou interrompre le passage du courant à travers l'élément conducteur (62, 211) en fonction de la position de l'objet (52, 200) lévité.

30 11. Dispositif (50) selon la revendication 10, caractérisé en ce que le capteur (100) comprend une pointe (101) solidaire de l'objet (52) lévité et apte à venir au contact d'un interrupteur (102) pour le fermer.

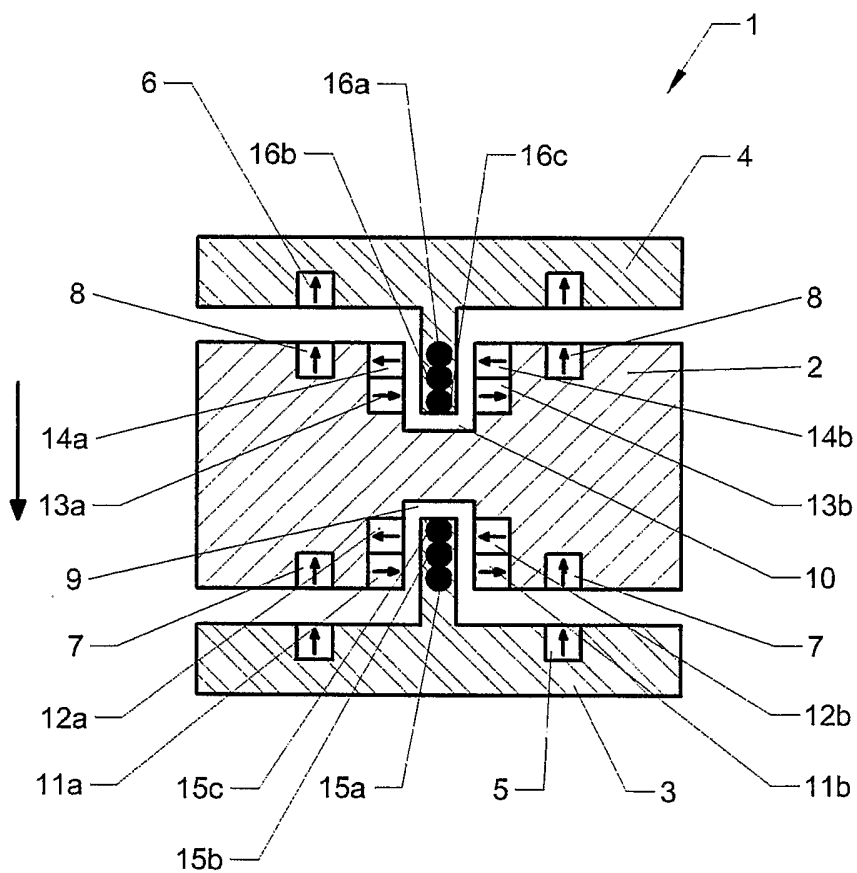


FIG 1

2/6

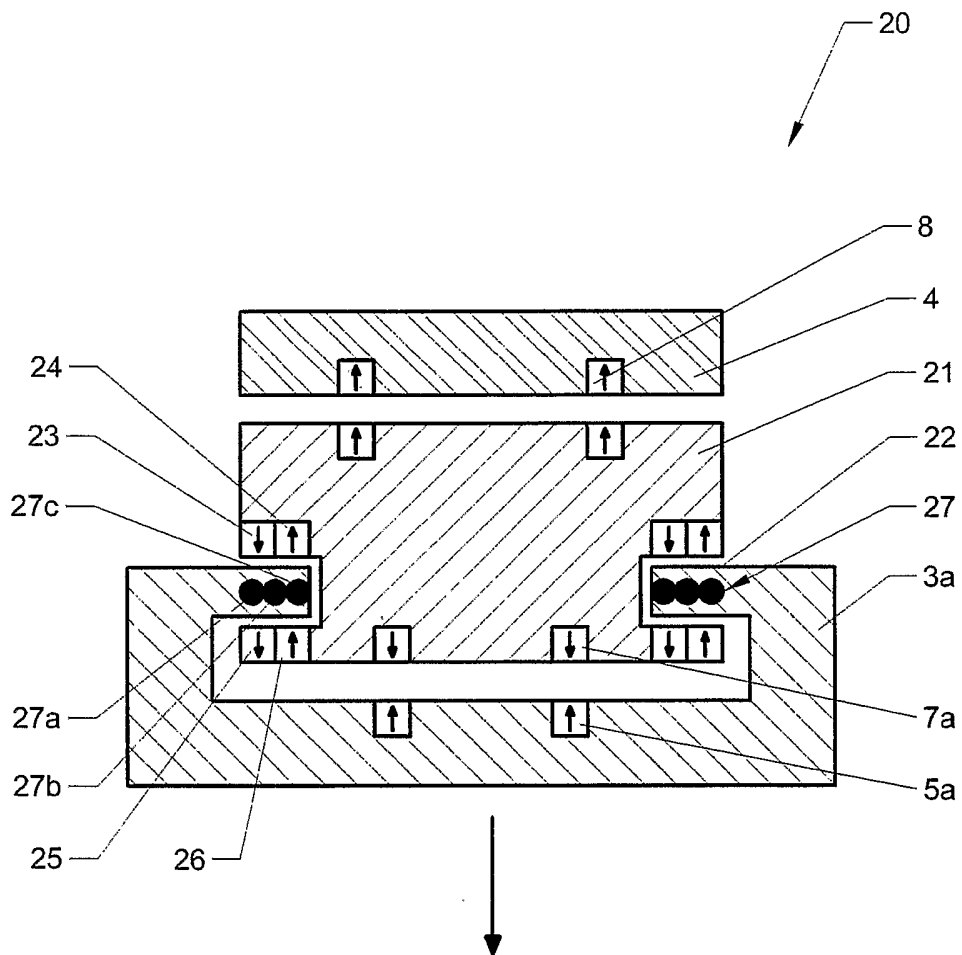


FIG 2

3/6

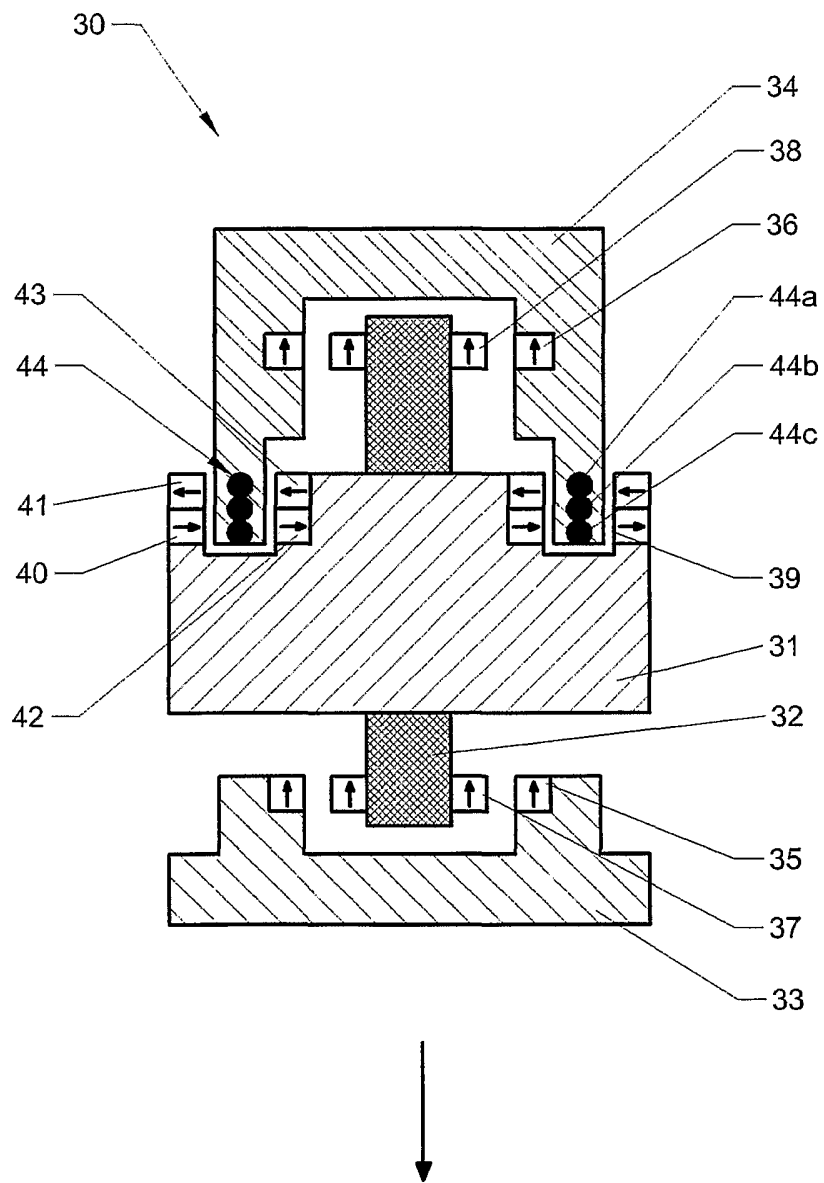


FIG 3



4/6

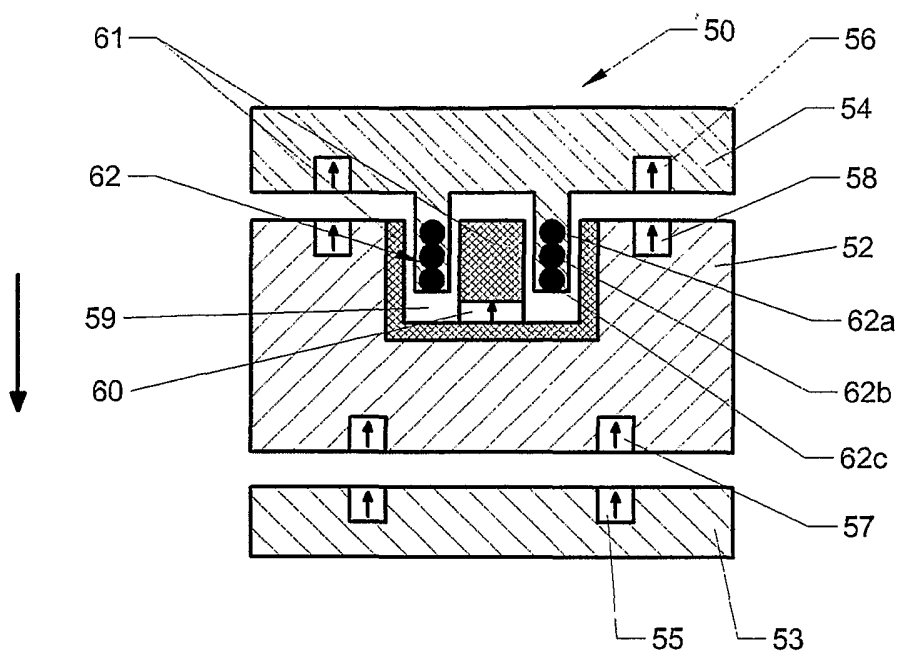


FIG 4

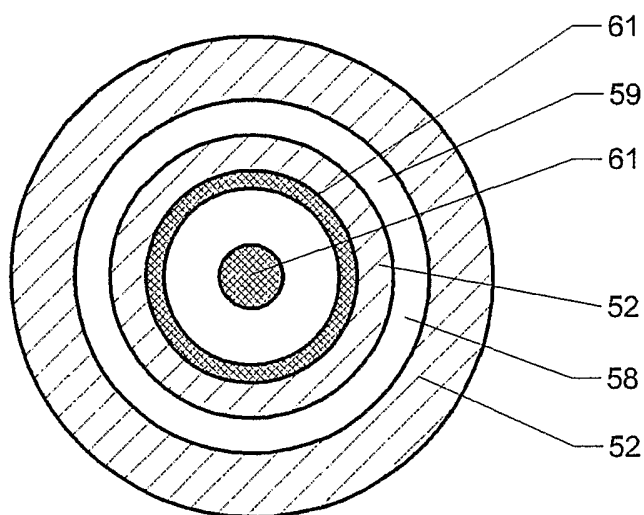
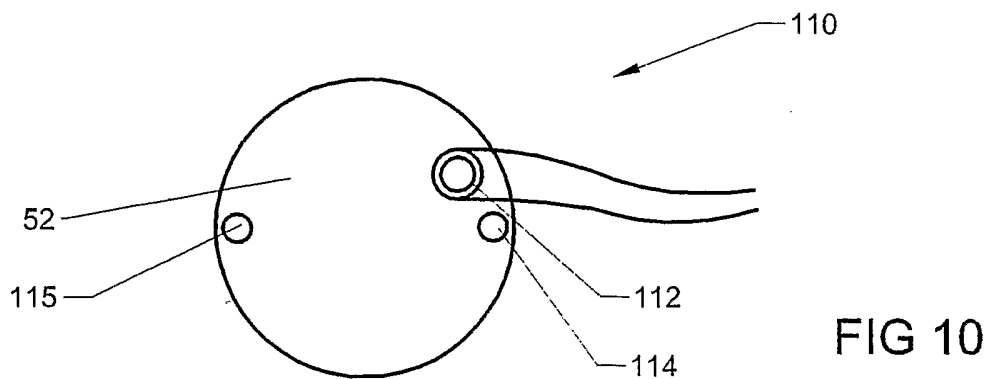
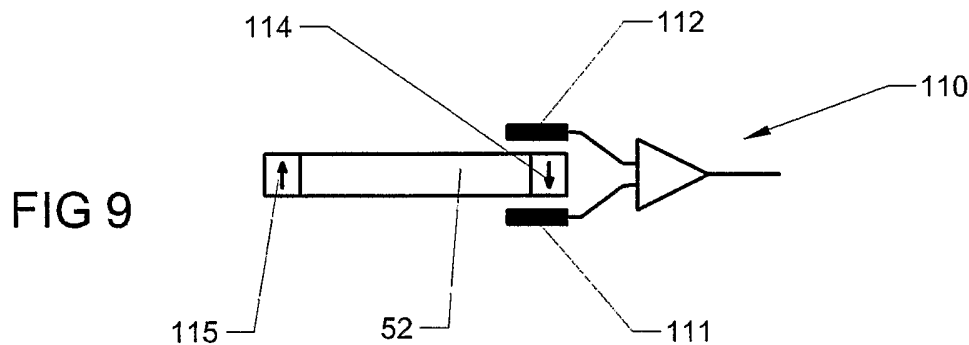
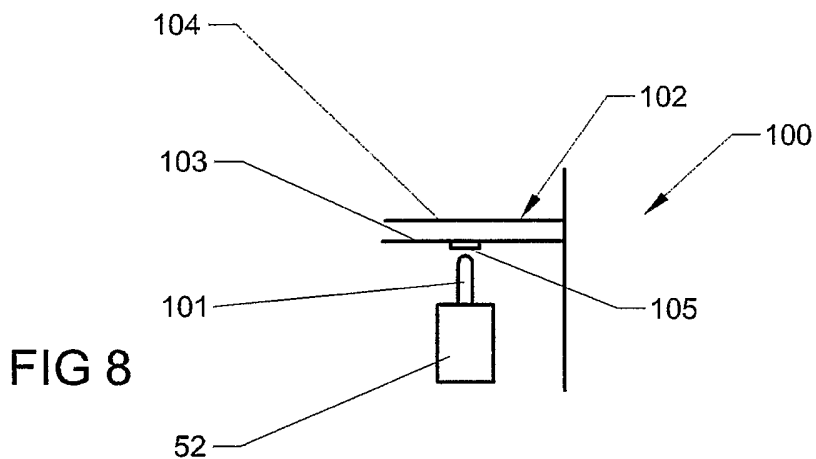
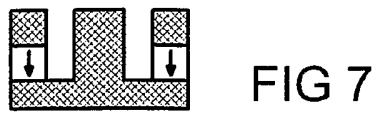


FIG 5



6/6

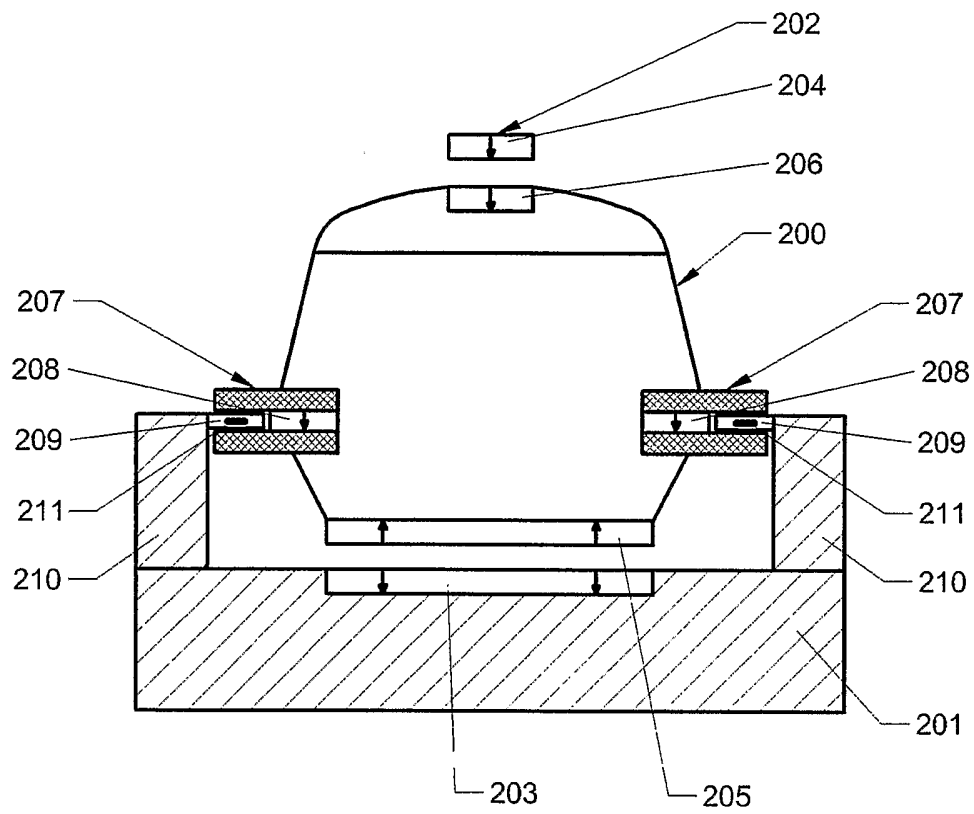


FIG 11

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No  
PCT/FR2006/000340

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
INV. F16C32/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
H02N F16C H02K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 154 353 A (BOWERS ET AL) 28 November 2000 (2000-11-28) column 7, line 54 - column 8, line 56; figures 1,2,7	1-10
X	US 6 293 901 B1 (PREM EDWARD K) 25 September 2001 (2001-09-25) column 6, line 5 - column 7, line 43; figures 1,3,5,6	1,3-8,10
A	DE 42 10 741 A1 (FORSCHUNGSZENTRUM JUELICH GMBH, 52428 JUELICH, DE) 14 October 1993 (1993-10-14) column 2, line 43 - column 3, line 40; figures 1-3	2,10
A		1-4,6-8, 10
	----- -/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

2 June 2006

13/06/2006

Name and mailing address of the ISA/  
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

von Rauch, E.M.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/FR2006/000340

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 812 694 A (FREMERY ET AL) 14 March 1989 (1989-03-14) column 3, line 58 - column 5, line 46; figures 1-3,5 -----	1-5,7-10
A	US 2004/135450 A1 (KANEBAKO HIDEKI) 15 July 2004 (2004-07-15) page 2, paragraph 17 - paragraph 19; figures 1-4,6,10 -----	1-4,6-10

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2006/000340

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6154353	A	28-11-2000	AT 193588 T 15-06-2000
			AU 714010 B2 16-12-1999
			AU 6834596 A 27-03-1997
			CA 2230619 A1 13-03-1997
			CN 1200792 A 02-12-1998
			DE 69608689 D1 06-07-2000
			DE 69608689 T2 08-02-2001
			EP 0845085 A1 03-06-1998
			WO 9709540 A1 13-03-1997
			JP 11512032 T 19-10-1999
US 6293901	B1	25-09-2001	NONE
DE 4210741	A1	14-10-1993	NONE
US 4812694	A	14-03-1989	AT 343962 B 26-06-1978
			AT 638775 A 15-10-1977
			BE 833346 A1 31-12-1975
			CA 1042046 A1 07-11-1978
			CH 594149 A5 30-12-1977
			DE 2444099 A1 01-04-1976
			FR 2284793 A1 09-04-1976
			GB 1518704 A 26-07-1978
			IT 1042404 B 30-01-1980
			JP 1266265 C 27-05-1985
			JP 51055848 A 17-05-1976
			JP 59042165 B 13-10-1984
			NL 7510123 A 16-03-1976
			SE 408452 B 11-06-1979
SE 7510141 A 15-03-1976			
SU 837335 A3 07-06-1981			
US 2004135450	A1	15-07-2004	WO 02095904 A1 28-11-2002
			JP 2002354767 A 06-12-2002

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°  
PCT/FR2006/000340

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**  
INV. F16C32/04

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)  
H02N F16C H02K

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)  
EPO-Internal

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 6 154 353 A (BOWERS ET AL) 28 novembre 2000 (2000-11-28) colonne 7, ligne 54 - colonne 8, ligne 56; figures 1,2,7	1-10
X	-----	
X	US 6 293 901 B1 (PREM EDWARD K) 25 septembre 2001 (2001-09-25) colonne 6, ligne 5 - colonne 7, ligne 43; figures 1,3,5,6	1,3-8,10
A		2,10
A	DE 42 10 741 A1 (FORSCHUNGSZENTRUM JUELICH GMBH, 52428 JUELICH, DE) 14 octobre 1993 (1993-10-14) colonne 2, ligne 43 - colonne 3, ligne 40; figures 1-3	1-4,6-8, 10
	-----	
	-/--	

Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

2 juin 2006

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

13/06/2006

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

von Rauch, E.M.

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°  
PCT/FR2006/000340

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>US 4 812 694 A (FREMERY ET AL) 14 mars 1989 (1989-03-14) colonne 3, ligne 58 - colonne 5, ligne 46; figures 1-3,5</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-5,7-10
A	<p>US 2004/135450 A1 (KANEBAKO HIDEKI) 15 juillet 2004 (2004-07-15) page 2, alinéa 17 - alinéa 19; figures 1-4,6,10</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-4,6-10



# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2006/000340

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
US 6154353	A	28-11-2000	AT	193588 T	15-06-2000
			AU	714010 B2	16-12-1999
			AU	6834596 A	27-03-1997
			CA	2230619 A1	13-03-1997
			CN	1200792 A	02-12-1998
			DE	69608689 D1	06-07-2000
			DE	69608689 T2	08-02-2001
			EP	0845085 A1	03-06-1998
			WO	9709540 A1	13-03-1997
			JP	11512032 T	19-10-1999
-----					
US 6293901	B1	25-09-2001	AUCUN		
-----					
DE 4210741	A1	14-10-1993	AUCUN		
-----					
US 4812694	A	14-03-1989	AT	343962 B	26-06-1978
			AT	638775 A	15-10-1977
			BE	833346 A1	31-12-1975
			CA	1042046 A1	07-11-1978
			CH	594149 A5	30-12-1977
			DE	2444099 A1	01-04-1976
			FR	2284793 A1	09-04-1976
			GB	1518704 A	26-07-1978
			IT	1042404 B	30-01-1980
			JP	1266265 C	27-05-1985
			JP	51055848 A	17-05-1976
			JP	59042165 B	13-10-1984
			NL	7510123 A	16-03-1976
			SE	408452 B	11-06-1979
SE	7510141 A	15-03-1976			
SU	837335 A3	07-06-1981			
-----					
US 2004135450	A1	15-07-2004	WO	02095904 A1	28-11-2002
			JP	2002354767 A	06-12-2002
-----					