

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

**2 892 869**

②1 N° d'enregistrement national : **05 11142**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : H 02 N 15/00 (2006.01)

⑫

**DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

**A1**

②2 Date de dépôt : 02.11.05.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 04.05.07 Bulletin 07/18.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : SIMERAY JANICK — FR et GOHIN ARTHUR — FR.

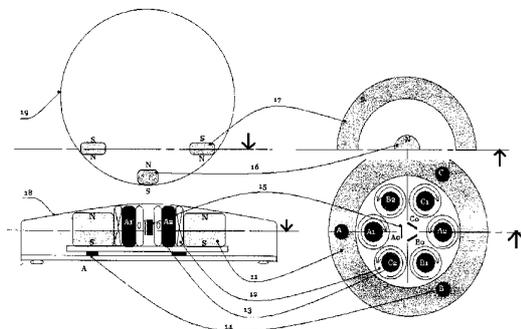
⑦2 Inventeur(s) : SIMERAY JANICK et GOHIN ARTHUR.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : SIMERAY JANICK.

⑤4 DISPOSITIF DE LEVITATION CONSTITUE D'UNE BASE AUTONOME ELECTRIQUEMENT ET D'UN OBJET EN LEVITATION A LA VERTICALE DE SA BASE DE MANIERE STABLE.

⑤7 Dispositif de lévitation magnétique d'un objet au dessus d'une base autonome optimisée. L'objet est stable au moyen d'aimants permanents selon un axe vertical, et dans un plan horizontal au moyen d'une combinaison d'électroaimants de consommation nulle à l'équilibre.



**FR 2 892 869 - A1**



L'invention concerne le principe et la réalisation d'un dispositif de lévitation magnétique d'objets divers.

Ce dispositif est applicable à des objets de décoration, de communication publicitaire, ou bien à des applications industrielles qui nécessitant la lévitation d'un objet.

L'état de l'art comporte des objets en sustentation magnétique tels que des globes. Ceux-ci comportent un aimant au pôle nord et sont suspendus sous un électroaimant qui régule son attraction afin de maintenir constante la mesure champ de l'aimant au niveau de l'électroaimant.

Le champ au niveau de l'électroaimant est mesuré au moyen d'une sonde à effet hall qui délivre une tension proportionnelle au champ magnétique mesuré.

Selon l'invention l'objet n'est pas suspendu sous un dispositif magnétique mais au dessus d'une base qui comporte des sources de champ magnétique.

Selon l'invention

1. L'objet en lévitation doit être d'apparence pesante.
2. L'objet en lévitation doit être totalement immobile.
3. L'objet en lévitation doit être totalement silencieux.
4. La surface représentant le sol au dessus de laquelle l'objet lévite doit être plane ou au moins régulière.
5. L'espace au dessus du plan de sol et autour de l'objet doit être libre et vide de tout dispositif.
6. Le(s) moyen(s) de sa lévitation doit(vent) être discret(s) sinon imperceptible(s).
7. La lévitation doit être permanente ou au moins autonome sur une longue durée du point de vue énergétique.

Le brevet US 5168183 décrit un dispositif qui revendique la sustentation au dessus d'une source de champ magnétique.

La différence entre l'invention et ce document est mieux comprise à la lumière de l'exposé des contraintes physiques de la lévitation magnétique.

Un théorème dû à Earnshaw prouve qu'il est impossible d'obtenir une lévitation statique en utilisant une combinaison d'aimants fixes. La lévitation statique implique une suspension stable d'un objet à l'encontre de la pesanteur.

Le théorème d'Earnshaw indique que la force statique, fonction de la position  $F(x)$  agissant sur tout objet dans le vide, due à la gravitation, aux champs électrostatique et magnétostatique, a toujours une divergence nulle:  $\text{div}F = 0$  Au point d'équilibre la force est nulle. Si l'équilibre est stable la force au voisinage du point d'équilibre doit pointer vers ce point d'équilibre, pour y retourner. Toutefois, à cause du théorème de Gauss,

$$\int_S F(x) \cdot dS = \int_V \text{div}F \, dV$$

l'intégrale de la composante radiale de la force sur la surface doit être égale à la divergence de la force intégrée dans le volume intérieur à la surface, qui est nulle. Donc l'équilibre n'est donc pas stable.

Ce théorème s'applique même aux objets étendus qui peuvent même être flexibles et conducteurs du moment qu'ils ne sont pas diamagnétiques. Ils seront toujours instables vis-à-vis de mouvements latéraux de l'ensemble de l'objet pour n'importe quelle position de l'équilibre.

Le brevet US 5168183 décrit plusieurs mises en œuvre de dispositifs en lévitation, qui contournent les limites du théorème d'Earnshaw au moyen de champs magnétiques variables qui permettent d'asservir la position de l'objet sustenté.

Selon les principes présentés,

- a) l'objet, un aimant, est stable dans un plan horizontal au moyen de champs délivrés plusieurs aimants permanents, mais instable dans un axe vertical, et

stabilisé par un électroaimant piloté par une mesure de la position de l'objet ou bien

- b) l'objet est stable dans un axe vertical et un axe horizontal, mais instable dans un autre axe horizontal.

Dans les deux cas l'aimant est instable en rotation. En effet l'aimant sustenté se retourne spontanément pour aller se coller aux aimants permanents et aucune solution n'est indiquée pour empêcher cela.

Pour la sustentation stable d'un objet, il est sous entendu qu'il est nécessaire de combiner au moins trois dispositifs de sustentation et au moins trois aimants au sein de l'objet.

Ce principe comporte donc des limites tant dans l'efficacité de la sustentation, que la compacité, et ceci est lié au principe exposé.

Ces limites ont une incidence aussi sur la consommation d'énergie nécessaire pour l'entretien de la sustentation, ce qui exclut une autonomie sur batterie ou une autonomie complète.

L'instabilité sur l'axe vertical est obtenue dans une zone très proche de l'aimant permanent porteur ce qui n'est pas conforme aux objectifs cités : notamment que la sustentation s'effectue au dessus du plan du dispositif de sustentation.

Par ailleurs à aucun endroit dans la description il n'est fait mention de l'effet de la pesanteur sur les objets, et la conséquence que cette pesanteur peut avoir sur la stabilité de la lévitation. En l'état, l'homme de l'art semble devoir mettre en œuvre cette lévitation en apesanteur, ce qui réduit considérablement l'enjeu de du brevet US 5168183. Il en effet bien précisé que le dispositif fonctionne indépendamment de la pesanteur ambiante, ce qui est complètement impossible en fonction des moyens décrits sinon en apesanteur.

En conséquence la présente invention a pour objectif

- De réaliser la lévitation d'un objet stable en rotation (basculement)
- D'optimiser la distance de lévitation, au moyen d'aimants en opposition polaire sur un axe vertical
- De compenser effectivement l'effet de la pesanteur qui s'exerce aussi selon l'axe vertical.

selon les critères cités dans l'introduction.

Selon l'invention l'équilibre est stable sur l'axe vertical, et instable sur les deux axes horizontaux.

Selon l'invention, au moins deux dispositifs maintiennent la position de l'objet stable dans le plan horizontal.

Selon l'invention, les deux basculements de l'objet autour d'un axe dans le plan horizontal sont condamnés.

De plus selon un mode de réalisation non exclusif de l'invention ; la rotation selon l'axe vertical est rendue possible.

Enfin selon l'invention, la stabilité est obtenue sans autre consommation électrique que celle des capteurs qui commandent les dispositifs de maintien, et ces capteurs et actionneurs sont retenus en fonction de leur faible consommation intrinsèque, afin de rendre possible une autonomie de longue durée par piles ou bien une autonomie totale par capteur solaire associé à une batterie rechargeable.

La figure 1 décrit en 11 une couronne aimantée dans le support dont le champ est vertical et par exemple le nord au dessus.

Cette couronne repousse une couronne aimantée 17 ou bien au moins trois aimants situés sur cette couronne dont les champs sont verticaux avec le nord en bas en vis-à-vis du nord de 11.

Elle repousse aussi un aimant 16 dans l'objet lévitant, dont le nord est au dessus, car les lignes du champ de l'aimant 11 se replient dans cette zone.

La base comporte aussi au moins trois électroaimants A1, B1, C1, ou bien 6, A1, B1, C1, A2, B2, C2, dont le rôle est de modifier le champ magnétique de la base en fonction de la position de l'objet en lévitation.

Selon l'invention si l'objet se décale vers la gauche de la figure 1 alors A1 présente un pôle sud répulsif en vis-à-vis du pôle sud de l'aimant 16.

Il est à noter que selon la géométrie présentée sur la figure 1, l'objet est stable selon l'axe vertical, stable selon les deux basculements d'axe horizontaux, mais instable selon les déplacements dans le plan horizontal.

Des lors, un micro déplacement est une translation horizontale, que l'opposition du pôle sud de 16 par A1 compense.

Selon un mode de réalisation de l'invention à 6 électroaimants, un déplacement vers la gauche est compensé au moyen de la combinaison de l'action d'un pôle sud de A1 et d'un pôle nord de A2.

Chaque électroaimant est réalisé au moyen d'un bobinage en cuivre 12 et d'un noyau ferromagnétique 13.

Selon un mode réalisation préférentiel de l'invention, le micro déplacement de l'objet en lévitation est mesuré par un capteur A de type résistance variable en fonction de la pression. Il comporte deux électrodes en contact avec un polymère chargé au carbone dont la résistance diminue en fonction de la pression imposée.

Un tel capteur est par exemple fourni par la société ®Interlink electronics sous le nom de ® FSR , force sensing resistor. Le modèle 402 présente par exemple une résistance à vide de 10 MΩ et une conductivité proportionnelle à la pression exercée ou à la force

exercée. Pour 100 g environ la résistance tombe à 30 k $\Omega$ , soit une consommation de courant de 0,1 ma pour 3 V.

La tension mesurée entre ce capteur et une autre résistance de 30 k $\Omega$  par exemple varie donc en linéairement en fonction du poids exercé sur ce capteur.

Le micro déplacement de l'objet vers la gauche induit un augmentation de la pression sur le capteur A, une réduction sur B et C, donc une baisse de la résistance A, et de la tension mesurée en A figure 2 et une augmentation en B et C, ceci car le centre de gravité de l'ensemble de la structure soutenue par les capteurs A B et C se déplace vers la gauche

Selon ce mode de réalisation préférentiel de l'invention, la consommation liée aux capteurs de forces est inférieure à 0,3 mA pour 3 capteurs.

Selon un autre mode de réalisation de l'invention le déplacement est mesuré au moyen de sondes à effet hall.

La sonde SS49 de ® Honeywell présente une bonne sensibilité stabilité et linéarité aux faibles champs.

Selon l'invention un déplacement de l'objet vers la gauche peut être mesurée sans interférence au moyen d'une sonde A0 placée dans une zone non affectée par les lignes de champ des électroaimants A1 B1 C1 et A2, B2 C2.

Cette zone se situe au centre de la couronne d'électroaimants.

Un déplacement vers la gauche de l'objet augmente la composante horizontale du champ magnétique de 16, ce qui diminue la tension en sortie de sonde.

La sonde SS49 consomme 5 mA, pour trois capteurs A0, B0 et C0 ; 15 mA.

La suite du principe est décrite figure 2.

Le capteur A ou A0 génère une baisse de tension qui est dérivée par un condensateur 23, et transmise par une résistance 24.

La somme de la dérivée et du signal est alors amplifiée par l'amplificateur opérationnel 21 associé à la résistance 22.

La sortie de l'amplificateur alimente les électroaimants A1 et A2 en proportion, dans un sens qui compense le micro déplacement. La résistance 23 et le condensateur 26 donnent une tension de référence commune aux amplificateurs.

En plus de compenser le déplacement, en créant une force de rappel, ce dispositif comporte une fonction d'amortissement afin de rendre impossible l'entretien d'oscillation.

La fonction d'amortissement est liée au condensateur 23. Il permet de s'opposer à tout déplacement rapide de l'objet.

Un amplificateur opérationnel rapide et faible bruit comme le LMV 651 de ©National Semiconductor ne consomme que 0,1 mA.

La consommation électrique des trois amplificateurs est alors réduite à environ 0,3 mA.

Selon l'invention les électroaimants ne consomment que exceptionnellement.

Quand le globe est centré et en équilibre, les électroaimants ne sont parcourus par aucun courant.

La consommation du circuit est de 0,6 mA si les capteurs sont de capteurs de force et de 15 mA si les capteurs sont des sondes à effet hall.

L'équilibre est obtenu avec consommation nulle des électroaimants si les capteurs donnent tous les mêmes tensions.

Comme cela est difficile, la combinaison de trois moyens permet de réaliser cette condition.

Les molettes VA VB permettent l'orientation de la base.

Le déséquilibre en les capteurs A, B, C ou A0, B0, C0, entraîne un courant de compensation dans les électroaimants.

Ce courant moyen est alors visualisé par le moyen des diodes électroluminescentes Da, Bb, Dc.

Selon le principe, l'utilisateur tourne les molettes jusqu' à éteindre les trois diodes Da, Db, Dc.

Ensuite, l'erreur résiduelle de moyenne non nulle est compensée par la résistance 29 qui décale lentement la consigne de l'amplificateur, afin que en moyenne, l'amplificateur ne délivre aucun courant.

L'utilisateur trouve la position d'équilibre pour chaque molette entre les deux positions ou une diode commence à s'allumer.

Selon ce procédé, l'ensemble de la consommation électrique est réduite à 0,6 mA en moyenne par l'usage capteurs de force.

Avec des piles AA, l'autonomie est de plus de six mois.

De plus une cellule solaire 32 figure 3 et 27 figure 2 associée à une batterie 28 fournit en moyenne une puissance d'environ 90 mW pour une surface de un décimètre carré.

Le circuit requiert en moyenne environ  $0,6 \times 6 \text{ V} = 3,6 \text{ mW}$  pour fonctionner.

La marge est donc suffisante pour assurer l'autonomie de la base sans autre source d'alimentation.

L'électronique pourvue de sonde à effet hall consomme 15 mA sous 6 volts, soit 100 mW.

Elle peut être entretenue par une cellule solaire un peu supérieure à  $1 \text{ dm}^2$ .

Selon un mode de réalisation non exclusif de l'invention les surfaces 18 figure 1 et 31 figure 3 sont un miroir courbe.

Ce miroir renforce la perception de hauteur de l'objet en lévitation.

Selon l'invention, et sans aucune limite ; l'objet sustenté est par exemple un globe, une statue de boudha, un récipient, support de différents objets.

Selon l'invention; pour la sustentation d'un objet plat, l'aimant 16 est optionnel.

Les objectifs de l'invention sont bien atteints :

1. L'objet en lévitation est d'apparence pesante.

Un poids élevé de l'ordre de 1 kg peut sans problème être lévitée.

2. L'objet en lévitation est totalement immobile.

Quand l'équilibre est ajusté.

3. L'objet en lévitation est silencieux.
4. La surface représentant le sol au dessus de laquelle l'objet lévite est plane ou au moins régulière.
5. L'espace au dessus du plan de sol et autour de l'objet est libre et vide de tout dispositif.
6. Les moyens de sa lévitation sont discrets sinon imperceptibles.
7. La lévitation est permanente ou au moins autonome sur une longue durée du point de vue énergétique.

## Revendications

1) Dispositif de lévitation constitué d'une base et d'un objet caractérisé en ce que :

- La base est autonome électriquement,
- L'objet lévite à la verticale de sa base de manière stable,

aux moyens de :

- Un aimant permanent circulaire situé dans la base dont le champ vertical repousse :

- Un aimant permanent circulaire ou bien plusieurs aimants répartis selon un cercle , dans l'objet

Et

- dans la base plusieurs électroaimants générateurs de champ magnétique vertical combinés contrôlés par une électronique d'asservissement qui génèrent une force de rappel proportionnelle à la mesure du décalage de la position de l'objet dans le plan horizontal par des capteurs de faible consommation électrique, pour compenser l'instabilité de l'équilibre de l'objet dans le plan horizontal, Et

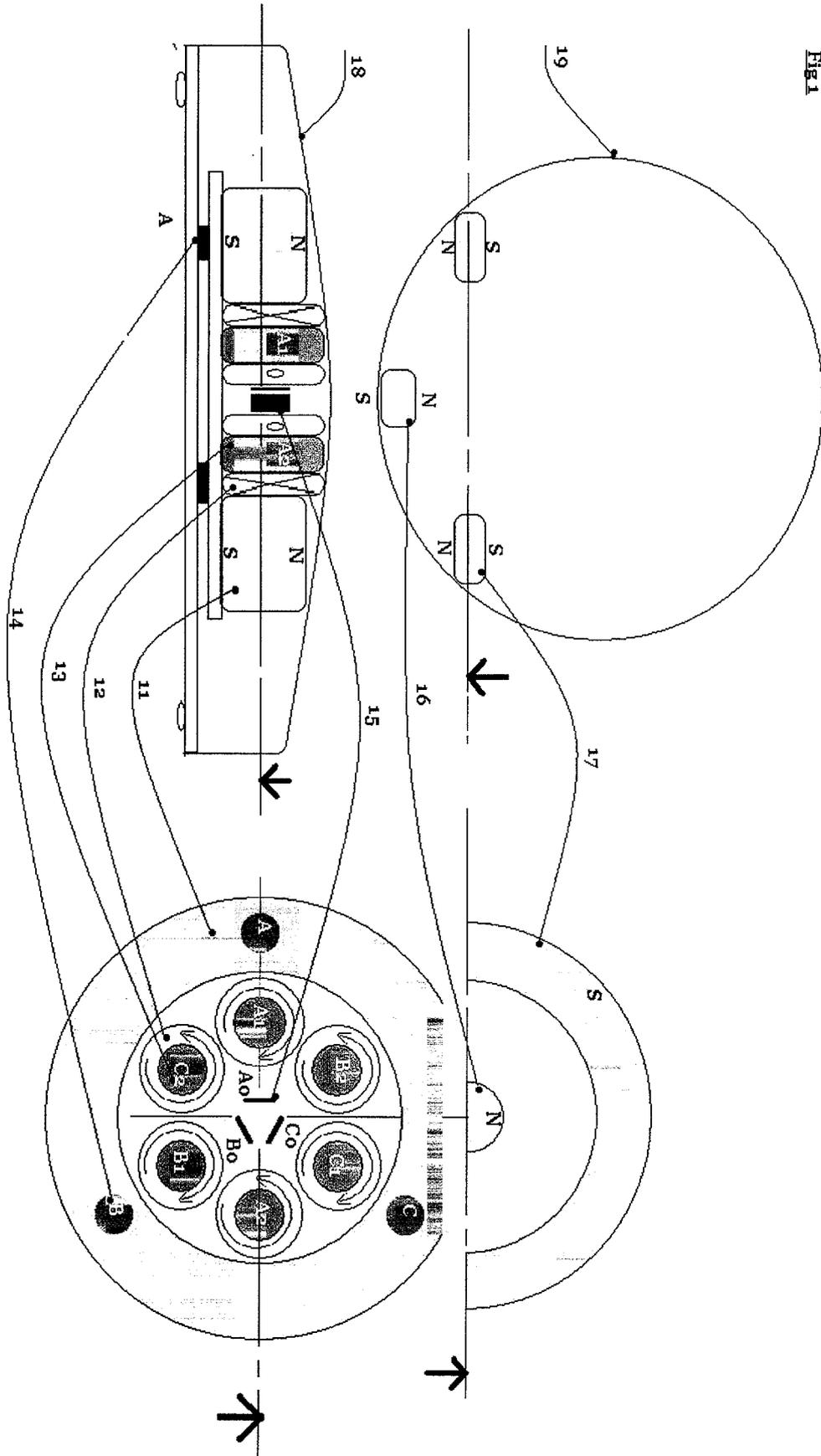
- dans la base, des piles ou des batteries ou/et une cellule photoélectrique.

2) Dispositif de lévitation selon la revendication 1 caractérisé en ce que les capteurs (15) sont du type à effet hall faible consommation.

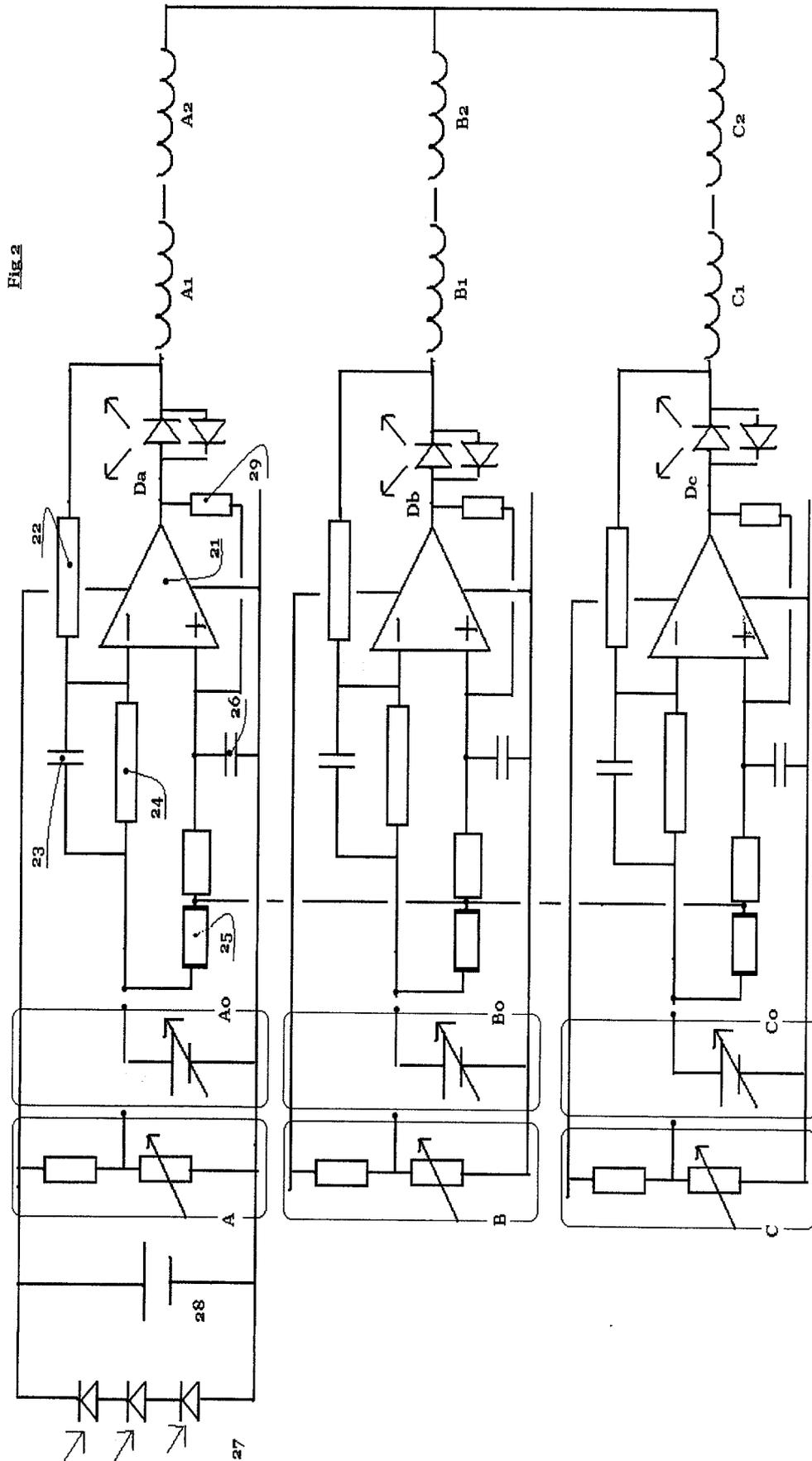
3) Dispositif de lévitation selon la revendication 1 caractérisé en ce que les capteurs (14) sont du type capteur de force à polymère à résistance variable.

- 4) Dispositif de lévitation selon l'une ou l'autre des revendications 2 et 3 caractérisé en ce que l'électronique d'asservissement comporte un amortissement des oscillations (23).
- 5) Dispositif de lévitation selon l'une ou l'autre des revendications 2 et 3 caractérisé en ce que l'électronique d'asservissement comporte des diodes ( $D_a$ ,  $D_b$ ,  $D_c$ ) pour visualiser le déséquilibre de l'objet dans le plan horizontal.
- 6) Dispositif de lévitation selon l'une ou l'autre des revendications 2 et 3 caractérisé en ce que la base comporte des réglages ( $V_a$ ,  $V_b$ ) pour compenser ce déséquilibre permanent.
- 7) Dispositif de lévitation selon l'une ou l'autre des revendications 2 et 3 caractérisé en ce que l'électronique d'asservissement comporte des amplificateurs opérationnels de faible consommation (21).

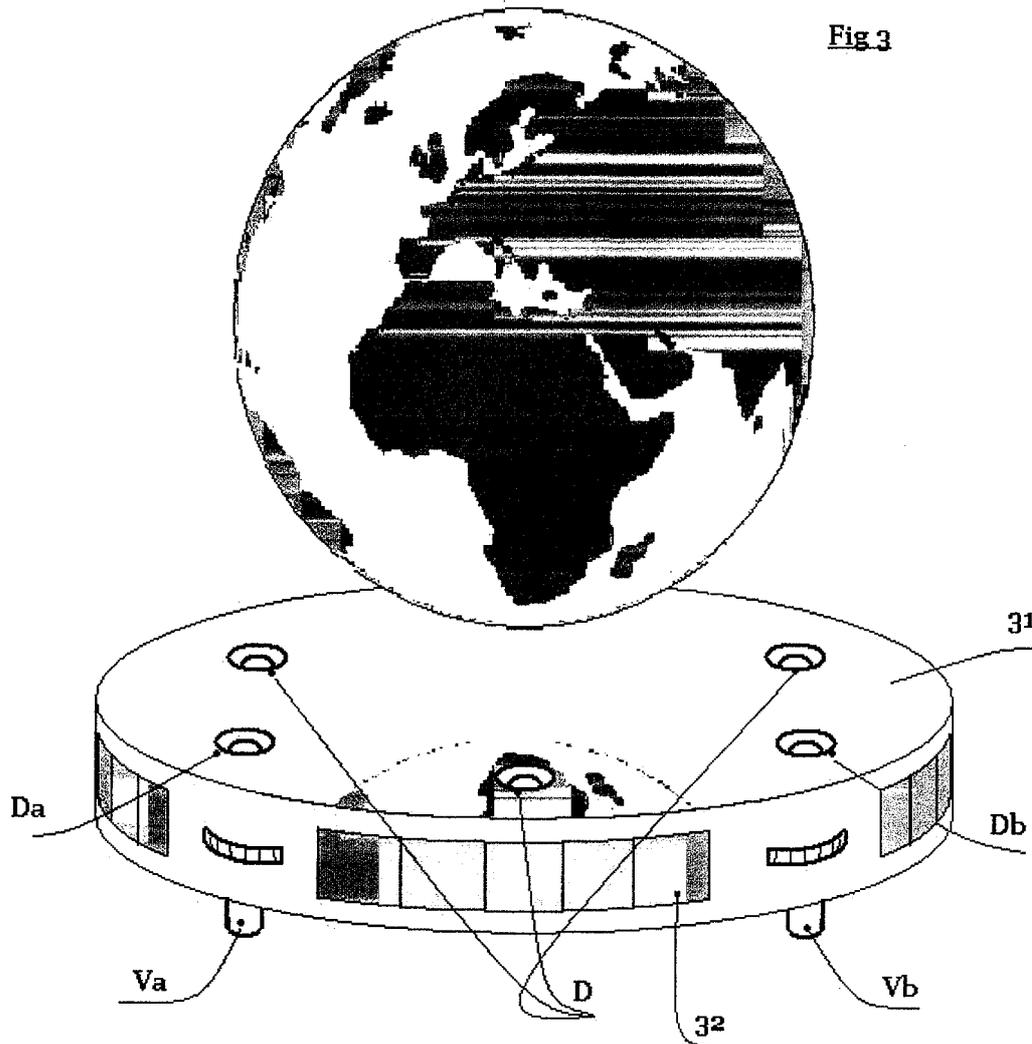
Fig. 1



2/3



3/3





**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**  
établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FA 680674  
FR 0511142

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 4 585 282 A (BOSLEY ROBERT W [US]) 29 avril 1986 (1986-04-29) * figures 3,13-19 * * colonne 1 * * colonne 2, ligne 66 - ligne 68 * * colonne 3, ligne 1 - ligne 11 * * colonne 8 * * colonne 12, ligne 18 - ligne 63 * * colonnes 13,14 *	1-7	H02N15/00
A,D	US 5 168 183 A (WHITEHEAD LORNE A R [CA]) 1 décembre 1992 (1992-12-01) * figures 1,5,6 * * colonne 3, ligne 39 - ligne 60 * * colonne 6, ligne 63 - ligne 69 *	1-7	
A	US 3 512 852 A (NORTH GEORGE G) 19 mai 1970 (1970-05-19) * figures 1-5 * * colonne 1 - colonne 4 *	1-7	
A	WO 2004/030198 A2 (UNIV BRITISH COLUMBIA [CA]; DAVIS HAROLD [CA]; WHITEHEAD LORNE [CA]) 8 avril 2004 (2004-04-08) * figure 1 *	1-7	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H02N
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
12 octobre 2006		Le Chenadec, Hervé	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date	
autre document de la même catégorie		de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		.....	
		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0511142 FA 680674**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 12-10-2006

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 4585282	A	29-04-1986	AUCUN
US 5168183	A	01-12-1992	AUCUN
US 3512852	A	19-05-1970	AUCUN
WO 2004030198	A2	08-04-2004	AU 2003271474 A1 19-04-2004 CA 2510566 A1 08-04-2004 CN 1729614 A 01-02-2006 EP 1543606 A2 22-06-2005 JP 2006503530 T 26-01-2006