

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

(19) Organisation Mondiale de la  
Propriété Intellectuelle  
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale

WO 2013/189946 A1

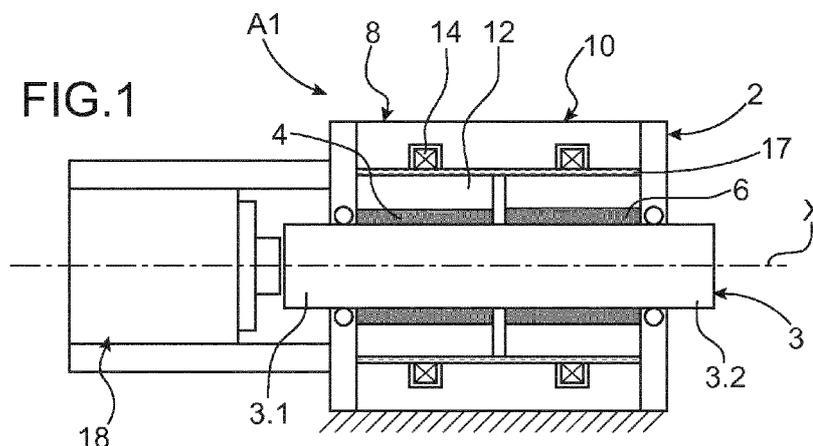
(43) Date de la publication internationale  
27 décembre 2013 (27.12.2013)

WIPO | PCT

- (51) Classification internationale des brevets :  
G06F 3/01 (2006.01) F16D 41/00 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/EP2013/062655
- (22) Date de dépôt international :  
18 juin 2013 (18.06.2013)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :  
12 55783 20 juin 2012 (20.06.2012) FR
- (71) Déposant : COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES [FR/FR]; 25 Rue Leblanc Bâtiment "Le Ponant D", F-75015 Paris (FR).
- (72) Inventeurs : ROSSA, Carlos; 30 rue Barbès, F-92120 Montrouge (FR). LOZADA, José; 21, Place Victor Schoelcher, F-91300 Massy (FR). MICAELLI, Alain; 13 rue Mordillat, F-92260 Fontenay aux Roses (FR).
- (74) Mandataires : ILGART, Jean-Christophe et al.; Brevalex, 95, rue d'Amsterdam, F-75378 Paris Cedex 8 (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Publiée :  
— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title : ACTUATOR WITH HYBRID ACTUATION FOR A FORCE FEEDBACK INTERFACE

(54) Titre : ACTIONNEUR A ACTIONNEMENT HYBRIDE POUR INTERFACE A RETOUR DE FORCES



(57) Abstract : An actuator for a force feedback interface comprising a shaft constrained to rotate with an interacting member of said interface, an electric motor rotating the shaft (3) in a clockwise direction and in an anti-clockwise direction, a first free-wheel device (4) mounted on the shaft (3) and a first braking system (8) capable of braking the rotation of the shaft (3) via the free-wheel device (4), a second free-wheel device (6) mounted on the shaft (3) opposite the first free-wheel device (4), a second braking system (10) capable of braking the rotation of the shaft (3) via the second free-wheel device (6) in a direction opposite that of the first braking system (8). The motor can apply an active load to the shaft (3) in the opposite direction to that of the braking force.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2013/189946 A1

---

Actionneur pour interface à retour de forces comportant un arbre solidaire en rotation d'un organe d'interaction de ladite interface, un moteur électrique entraînant en rotation l'arbre (3) dans un sens horaire et dans un sens antihoraire, un premier dispositif à roue libre (4) monté sur l'arbre (3) et un premier système de freinage (8) apte à freiner la rotation de l'arbre (3) par l'intermédiaire du dispositif à roue libre (8), un deuxième dispositif à roue libre (6) monté sur l'arbre (3) en opposition par rapport au premier dispositif à roue libre (4), un deuxième système de freinage (10) apte à freiner la rotation de l'arbre (3) par l'intermédiaire du deuxième dispositif à roue libre (6) dans un sens opposé à celui du premier système de freinage (8). Le moteur pouvant appliquer un effort actif à l'arbre (3) dans le sens opposé à celui de la force de freinage.

**ACTIONNEUR A ACTIONNEMENT HYBRIDE POUR INTERFACE A RETOUR DE FORCES****DESCRIPTION****DOMAINE TECHNIQUE ET ART ANTÉRIEUR**

5 La présente invention se rapporte à un actionneur à actionnement hybride pour interface à retour de forces et à une interface comportant un tel actionneur.

Les interfaces à retour de forces de l'état de la technique peuvent mettre en œuvre des moteurs ou des freins contrôlables pour générer les forces d'interaction.

10 Dans le cas où un moteur est utilisé, il existe un compromis entre la raideur et la stabilité de l'interface via les gains d'asservissement.

Dans le cas où un frein est utilisé, le système est intrinsèquement stable mais il est impossible de restituer de l'énergie à l'utilisateur.

15 Il a donc été réalisé des interfaces mettant en œuvre des actionneurs hybrides associant un moteur à courant continu à un frein contrôlable. Le moteur fournit alors un comportement actif à l'interface tandis que le frein est utilisé pour assurer la stabilité du système ou pour dissiper des quantités importantes d'énergie. Cependant, si le frein et le moteur sont utilisés simultanément, le comportement actif du moteur est naturellement annulé par le frein. Dans une interface haptique à deux degrés de liberté  
20 par exemple, il devient impossible de recréer des forces d'interaction dans une large plage de direction en utilisant les freins et le moteur en même temps. En outre, si l'effort imposé par utilisateur est inférieur à la force de consigne imposée par l'actionneur, l'interface doit avoir un effet prédominant sur l'utilisateur. Ceci s'effectue naturellement lorsque le rendu haptique est assuré par le moteur mais reste imperceptible dans le cas  
25 où le frein est activé. Afin d'assurer un rendu haptique réaliste, il est alors nécessaire de combiner à l'actionneur hybride un capteur de force d'interaction, ce qui rend le système volumineux et considérablement plus coûteux.

Le document *F. Conti and O. Khatib, "A new actuation approach for haptic Interface Design" – In The international Journal of Robotics Research 2009* décrit un

actionneur appelé « H2O » combinant l'utilisation d'un ressort angulaire, un frein et un moteur dans une configuration parallèle, avec deux capteurs de position qui mesurent la compression du ressort. La sortie de l'actionneur est caractérisée par la somme des couples générés par chaque actionneur. En introduisant un ressort, il est possible de stocker de l'énergie provenant de l'extérieur par l'actionnement du frein. Lorsque le frein est relâché, l'utilisateur peut faire tourner l'axe principal sans résistance. Cependant, lorsque le frein est activé, une force proportionnelle au déplacement est imposée à la sortie. Le moteur est activé pour compenser le couple de sortie et la consigne.

L'actionnement du système est contrôlé par une simple comparaison entre le signe de la consigne et celui de la force stockée par le ressort. Si les signes coïncident, le couple de consigne est commandé par le frein et l'erreur entre la consigne et le couple ressort est compensée par le moteur. Toutefois si les signes de la consigne et celui de la force stockée par le ressort sont différents il est nécessaire de lâcher le frein afin d'annuler l'énergie stockée et le moteur assume la consigne. Lorsque l'énergie du ressort devient nulle, il est à nouveau possible d'actionner le frein et le système revient dans le premier mode de fonctionnement. L'ajout d'un élément élastique dans l'actionneur réduit considérablement la bande passante contrôlable du manipulateur. Le temps de réponse du frein est considérablement affecté.

Le document *O.Schneider et J.Troccaz. « PADyC: A synergistic robot for cardiac puncturing » - In Proceedings of the 2000 IEEE international conference on robotics & automation* décrit le mécanisme « PADyC » associant deux roues libres montées en parallèle. Chaque roue est connectée à un moteur programmé pour tourner uniquement dans le sens libre de la roue qui lui est associée. Les deux roues libres sont activées lorsque les deux moteurs sont inactifs, dans ce cas aucun mouvement de l'axe de rotation n'est possible. Lorsque les deux moteurs sont en rotation, les deux roues libres sont inactivées, tout mouvement de l'axe est alors permis. Si uniquement une des roues libres est active, i.e. le moteur associé à la roue libre est à l'arrêt tandis que le moteur de l'autre roue est actif, la rotation de l'axe est alors permise dans le sens de rotation du moteur activé. En contrôlant la vitesse de rotation des moteurs il est possible de contrôler l'amplitude des mouvements des axes. L'actionnement des moteurs permet ainsi le

mouvement de l'axe de rotation dans une direction. De ce fait, le système est non motorisé car les moteurs ne fournissent pas de couple actif.

## EXPOSÉ DE L'INVENTION

5 C'est par conséquent un but de la présente invention d'offrir un actionneur pour interface à retour d'effort capable de fournir un couple actif ou dissipatif avec un nombre d'éléments sensiblement proche de celui des actionneurs de l'état de la technique et présentant un encombrement réduit

10 Le but de la présente invention est atteint par un actionneur comportant un moteur électrique entraînant un arbre apte à tourner autour de son axe et apte à transmettre les forces à un opérateur, et des moyens à roue libre aptes à appliquer un effort de freinage sur l'arbre de telle sorte que le moteur peut entraîner l'arbre dans un sens opposé à celui dans lequel s'exerce l'effort de freinage. L'actionneur selon l'invention peut alors fournir à l'interface un couple actif ou dissipatif sans ajouter aucun élément susceptible de nuire à la bande passante du système. Le couple actif peut  
15 s'ajouter au couple dissipatif.

En d'autres termes, le moteur peut exercer un effort actif sur l'arbre sans que celui-ci soit annulé par les efforts dissipatifs générés par le système de freinage activé, puisque l'arbre peut être libre en rotation dans le sens opposé à celui dans lequel s'exerce l'effort de freinage

20 L'actionneur peut être asservi en force par des contrôleurs analogiques ou digitaux. Grâce à l'invention, seule la mesure de la position de l'axe de rotation est requise. Le modèle mathématique des éléments à simuler est implémenté dans le simulateur et le système global peut être contrôlé par un microcontrôleur qui réalise le partage des tâches entre les freins et le moteur.

25 L'interface de simulation tactile selon l'invention présente l'avantage de pouvoir fonctionner sans connaissance a priori des éléments à simuler.

Selon un exemple d'un premier mode de réalisation, le couple moteur est transmis directement à la sortie de l'arbre en interaction avec l'opérateur, et l'actionneur comporte une roue libre et un système de freinage qui applique un freinage

à l'arbre par l'intermédiaire de la roue libre. Pour les applications de retour de force, ceci permet de combiner les forces de freinage importantes fournies par le frein au comportement actif du moteur sans que ce dernier ne soit annulé par le frein. Cet actionneur ne fonctionne que dans un seul sens de rotation.

5                    Selon un autre exemple du premier mode de réalisation, le couple moteur est transmis directement à la sortie de l'arbre en interaction avec l'opérateur, et l'actionneur comporte deux roues libres montées en opposition et un système de freinage associé à chaque roue libre. Le freinage en rotation unidirectionnel est appliqué à l'arbre par l'intermédiaire des roues libres. De ce fait le couple de freinage du frein n'est  
10 transmis à l'axe que dans le sens de blocage de la roue libre qui lui est associée. Le moteur est connecté directement à l'axe de sortie et peut entraîner ce dernier dans le deux sens. Pour les applications de retour de force, ceci permet de combiner les forces de freinage importantes fournies par les freins au comportement actif du moteur sans que ce dernier ne soit annulé par les freins. Cet actionneur fonctionne dans les deux sens de  
15 rotation.

Dans un deuxième mode de réalisation, des moyens connectent le premier et le deuxième arbre et sont tels qu'ils inversent les sens de rotation de l'arbre. Par exemple il s'agit d'une boîte de vitesse.

Par exemple, le ou les systèmes sont magnéto-rhéologiques.

20                    L'invention permet de combiner les efforts dissipatifs des systèmes de freinage et les efforts actifs du moteur sans que ce dernier ne soit annulé par le composant dissipatif. De ce fait, le système de freinage et le moteur peuvent être activés simultanément. Etant adaptable à une large gamme d'applications haptique, cet actionneur permet d'améliorer les performances des interfaces. En outre, il devient  
25 possible d'associer un système de freinage ayant une capacité de couple beaucoup plus importante que celle du moteur, ce qui minimise l'énergie nécessaire à la synthèse d'un rendu haptique.

La présente invention a alors pour objet un actionneur pour interface à retour de forces comportant un premier arbre destiné à être solidaire en rotation d'un  
30 organe d'interaction de ladite interface, un moteur électrique apte à mettre en rotation le

premier arbre dans un sens horaire et dans un sens antihoraire, un premier dispositif à roue libre monté sur ledit premier arbre et un premier système de freinage apte à freiner la rotation dudit premier arbre par l'intermédiaire du dispositif à roue libre.

L'actionneur peut comporter un deuxième dispositif à roue libre monté sur ledit premier arbre en opposition par rapport au premier dispositif à roue libre, un deuxième système de freinage apte à freiner la rotation dudit premier arbre par l'intermédiaire du deuxième dispositif à roue libre dans un sens opposé à celui du premier système de freinage.

La présente invention a également pour objet un actionneur pour interface à retour de forces comportant un premier arbre destiné à être solidaire en rotation d'un organe d'interaction de ladite interface, un moteur électrique apte à mettre en rotation le premier arbre dans un sens horaire et dans un sens antihoraire, un deuxième arbre solidaire en mouvement du premier arbre, un premier dispositif à roue libre monté sur le deuxième arbre et un premier système de freinage apte à freiner la rotation du deuxième arbre par l'intermédiaire du dispositif à roue libre, et des moyens connectant le deuxième arbre au premier arbre, lesdits moyens étant tels que le sens de rotation du premier et du deuxième arbre sont identiques ou opposés.

Les moyens pour sélectionner le sens dans lequel le premier arbre est freiné sont formés avantageusement par une boîte de vitesse. La boîte de vitesse peut posséder différents rapports de transmission.

Dans un exemple de réalisation, le premier et/ou le deuxième système de freinage sont des systèmes de freinage magnéto-rhéologiques.

De préférence, le moteur est un moteur à courant continu.

Selon une caractéristique de l'invention, l'actionneur peut comporter un capteur de position du premier arbre.

Selon une autre caractéristique de l'invention, le ou les systèmes de freinage présente(nt) une capacité de couple supérieure à celle du moteur.

La présente invention a également pour objet une interface comportant au moins un actionneur selon l'invention, un organe d'interaction avec l'opérateur

solidaire en rotation du premier arbre et un contrôleur commandant le moteur et le ou les systèmes de freinage.

L'actionneur peut être avantageusement asservi en force.

5 Le contrôleur peut comporter des moyens pour comparer le signe de la vitesse du premier arbre et celui de la consigne.

Dans un exemple de réalisation, le contrôleur commande l'un des systèmes de freinage et le moteur pour qu'ils freinent tous deux la rotation du premier arbre.

10 Selon une caractéristique de l'invention, le moteur peut participer au freinage uniquement quand la vitesse mesurée est nulle ou quand un effort actif est requis.

La présente invention a également pour objet un procédé de commande d'un actionneur d'une interface à retour de forces selon l'invention, comportant les étapes :

15 - comparaison du signe de la vitesse de rotation du premier arbre portant l'organe d'interaction avec l'opérateur avec le signe de la force de consigne,  
- envoi d'un ordre de commande au moteur et/ou à l'un des systèmes de freinage,  
- application d'un effort dissipatif et/ou d'un effort actif audit premier  
20 bras.

Dans un exemple de réalisation, pour une vitesse mesurée du premier arbre non nulle, l'un ou l'autre des systèmes de freinage est activé pour exercer un effort dissipatif et le moteur est activé pour fournir un effort actif. Lorsque la vitesse du premier arbre mesurée est nulle, le moteur et l'un ou l'autre des systèmes de freinage peuvent  
25 être activés simultanément.

Dans un autre exemple de réalisation, le moteur fournit un effort dissipatif et l'un ou l'autre des systèmes de freinage sont activés lorsque le moteur atteint son régime de saturation.

## BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise à l'aide de la description qui va suivre et des dessins en annexes sur lesquels :

- 5 - la figure 1 est une vue schématique d'un actionneur selon un premier mode de réalisation,
- la figure 2 est une vue schématique d'un actionneur selon un deuxième mode de réalisation,
- la figure 3 est une représentation schéma d'un exemple de commande de l'actionneur.

## 10 EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

L'actionneur qui va être décrit en détail présente un degré de liberté.

Dans la présente demande, on entend par « effort dissipatif » un effort destiné à s'opposer à la vitesse (déplacement) de l'opérateur, et par « effort actif » un effort qui s'effectue dans le même sens que la vitesse de déplacement de l'opérateur.

15 Sur la figure 1, on peut voir une représentation schématique d'un actionneur A1 selon un premier mode de réalisation.

L'actionneur A1 comporte un bâti 2 dans lequel un arbre 3 d'axe X est monté apte à tourner en rotation autour de son axe, une première roue libre 4 montée sur l'arbre 3 et une deuxième roue libre 6 montée sur l'arbre 3. Les deux roues libres 4, 6  
20 sont montées en opposition. Il s'agit par exemple de roues libres à rouleaux.

Pour rappel, une roue libre est un dispositif mécanique de transmission d'effort unidirectionnel. Ce dispositif est bien connu de l'homme du métier et ne sera pas décrit en détail.

Par exemple, la première roue libre 4 transmet le mouvement de rotation dans le sens horaire et la deuxième roue libre 6 transmet le mouvement de rotation dans le sens antihoraire.

L'actionneur A1 comporte également des premier 8 et deuxième 10 systèmes de freinage associés à chacune des première 4 et deuxième 6 roues libres

respectivement. De sorte que, lorsqu'un effort de freinage est appliqué par le premier système de freinage 8, l'arbre 3 est freiné dans le sens horaire et, lorsqu'un effort de freinage est appliqué par le deuxième système de freinage 10, l'arbre 3 est freiné dans le sens antihoraire.

5 Dans la présente demande, on entend par "système de freinage" un système apte à appliquer un effort dissipatif visant à réduire la vitesse de rotation d'un arbre, la vitesse réduite pouvant être non nulle ou nulle.

Dans l'exemple représenté, les premier 8 et deuxième 10 systèmes de freinage sont des systèmes de freinage magnéto-rhéologiques.

10 Les deux systèmes de freinage étant similaires, seul le premier sera décrit en détail.

Le premier système comporte un manchon en matériau ferromagnétique 12 solidaire de la périphérie extérieure de la première roue libre 4 et un générateur de champ magnétique 14, une bobine dans l'exemple représenté. Un jeu radial est prévu entre la périphérie extérieure du manchon 12 et la bobine 14 délimitant une espace annulaire 16. Un liquide magnéto-rhéologique 17 remplit l'espace annulaire 16.

Le premier système de freinage 8 fonctionne de la manière suivante : lorsqu'un flux magnétique est généré par la bobine 14 dans l'espace 16, les particules ferromagnétiques qui composent le fluide s'alignent selon l'orientation du flux magnétique et constituent des chaînes entre les parois des parties fixes et mobiles. De ce fait, pour forcer le mouvement entre les parois de la couche de fluide, il faut imposer une force supérieure à la force d'interaction des particules afin de casser les chaînes qui se sont formées. Ceci se traduit par une résistance à la rotation des roues libres par rapport au bâti, cette résistance est proportionnelle à l'intensité du flux magnétique généré par la bobine.

25 En variante, on pourrait envisager que la bobine soit solidaire de la roue libre. Dans l'exemple représenté, le volume de fluide magnéto-rhéologique est partagé entre les deux systèmes de freinage, cependant on pourrait prévoir deux volumes distincts.

30

Toute autre géométrie de frein magnéto-rhéologique est envisageable.

D'autres systèmes de freinage contrôlables peuvent également être utilisés, par exemple du type frein à poudre, frein à sabot, frein à disque, frein à courant de Foucault, freins électro-rhéologiques...

5 Dans l'exemple représenté et de manière avantageuse, l'arbre 3 est traversant et comporte deux extrémités longitudinales 3.1, 3.2 faisant saillie de part et d'autre du bâti 2. Un moteur électrique 18 est en prise avec l'arbre 3 au niveau de l'extrémité 3.1, le moteur 4 peut tourner dans le sens horaire et dans le sens antihoraire. Il s'agit par exemple d'un moteur à courant continu. La mise en œuvre d'un arbre  
10 traversant permet de connecter simplement le moteur directement en sortie de l'arbre.

L'extrémité 3.2 de l'arbre 3 porte un organe d'interaction avec l'opérateur, par exemple un levier (non représenté).

Grâce à l'invention, si une force résistante à la rotation de l'arbre 3 dans le sens horaire est imposée, cette force est contrôlée en intensité par l'actionnement du  
15 premier système de freinage 8 qui agit sur la première roue libre 4. Cependant, grâce à la première roue libre 4, l'arbre 3 peut tourner librement dans le sens antihoraire.

L'actionneur A1 comporte également un capteur de position angulaire de l'arbre 3, le capteur est par exemple du type codeur rotatif. D'autres capteurs sont cependant utilisables, tels que : capteurs inductifs, capteurs capacitifs, potentiomètres,  
20 capteurs optiques etc. On peut également prévoir d'utiliser un capteur de vitesse angulaire ou d'accélération angulaire.

L'actionneur est asservi en force par un ou des contrôleurs analogiques ou digitaux.

L'interface à retour de forces selon l'invention comporte au moins un  
25 actionneur selon l'invention et un organe de contrôle qui assure le partage des tâches entre les organes contrôlables et qui réalise le partage des tâches entre les systèmes de freinage et le moteur. L'organe de contrôle est par exemple un ordinateur ou tout autre système de contrôle.

Sur la figure 3, on peut voir un exemple du schéma de commande de  
30 l'actionneur.

La commande de l'actionneur se base sur l'analyse de l'énergie d'interaction. En comparant les signes de la vitesse mesurée sur l'arbre 3 avec les signes des consignes de simulation émises par un simulateur 21 au microcontrôleur 22, on détermine si l'interface à retour d'effort requiert une commande pour dissiper de l'énergie ou pour présenter un comportement actif. Les consignes de simulation sont envoyées par le microcontrôleur 22 soit à l'un des systèmes de freinage 8, 10 et/ou au moteur 18. L'un des systèmes de freinage 8, 10 et/ou le moteur 18 imposent une force de réaction à l'arbre 3. Ensuite, la position de l'arbre est mesurée, information qui est envoyée au simulateur et au contrôleur pour corriger ou non l'action de l'un des systèmes de freinage et/ou du moteur. Le choix de la consigne des systèmes de freinage et/ou du moteur dépend du sens de la vitesse de rotation de l'arbre.

On entend par "simulateur" l'environnement virtuel qui contient le modèle mathématique utilisé pour le calcul des consignes de forces d'interaction. L'environnement virtuel calcule les consignes en fonction de la position mesurée et/ou de la vitesse qui peut en être déduite et en particulier en fonction du comportement des éléments virtuels à simuler, par exemple le couple dans un volant à retour d'effort dans un jeu de course. Le simulateur est indépendant du reste du système. Il varie selon les applications et n'est pas implémenté dans le système d'actionnement décrit. Le microcontrôleur 22, quant à lui, reçoit les consignes calculées par l'environnement virtuel et utilise la mesure de position pour calculer la vitesse ou une mesure directe de la vitesse. Il fait partie du système et est responsable du partage de la consigne entre les différents actionneurs. De ce fait, le système d'actionnement est adaptable dans un grand nombre d'applications haptiques puisqu'il est indépendant de toute simulation.

Les différentes possibilités de fonctionnement de l'actionneur sont les suivantes :

A - Les deux systèmes de freinage sont activés : le système impose une force résistante à la rotation de l'arbre 3 dans les deux directions.

B- Le premier système de freinage 8 est activé : il impose une force résistante à la rotation de l'arbre dans le sens horaire de rotation. L'arbre 3 peut tourner librement dans le sens antihoraire.

C – Le deuxième système de freinage 10 est activé : il impose une force résistante à la rotation de l'arbre 3 dans le sens antihoraire de rotation. L'arbre 3 peut tourner librement dans le sens horaire.

5 D - Le moteur 18 est activé dans le sens antihoraire et le premier système de freinage 8 est activé : le premier système de freinage 8 et le moteur imposent une résistance à la rotation dans le sens horaire. Dans le sens antihoraire, le moteur 18 peut entraîner l'arbre 3.

10 E - Le moteur 18 est activé dans le sens horaire et le premier système de freinage 8 est activé : le couple moteur est freiné par le premier système de freinage 8. La différence entre le couple moteur et le couple de freinage est transmise à la sortie.

F - Le moteur est activé dans le sens horaire et le deuxième système de freinage 10 est activé : le deuxième système de freinage 10 et le moteur 18 imposent une résistance à la rotation dans le sens antihoraire. Dans le sens horaire, le moteur 18 peut entraîner l'arbre 3.

15 G - Le moteur est activé dans le sens antihoraire et le deuxième système de freinage 10 est activé : le couple moteur est freiné par le deuxième système de freinage 10. La différence entre le couple moteur et le couple de freinage est transmise à la sortie.

20 Il est à noter que les modes de fonctionnement E et G présentent un moindre intérêt.

Le fonctionnement de l'actionneur de la figure 1 selon l'invention va maintenant être décrit.

25 Tout d'abord à partir de la mesure de la position de l'arbre 3, la vitesse de l'arbre est déterminée. On compare ensuite le signe de la vitesse ainsi déterminée et celle de la force de consigne.

30 Si la force de consigne a le même signe que la vitesse mesurée, on en conclut que l'interface haptique doit fournir un effort dissipatif. Suivant le signe de la force de la consigne, le premier ou deuxième système de freinage ou le moteur est activé. Un champ magnétique est produit dans l'espace C, les particules du fluide magnéto-rhéologique s'alignent et opposent une résistance à la rotation de l'arbre.

Si au contraire, le signe de la vitesse et celui de la force de consigne sont différents, la consigne est envoyée au moteur 18 afin qu'il fournisse un effort actif et, au lieu que l'actionneur génère une force s'opposant à la rotation de l'arbre, il impose une force accompagnant la rotation de l'arbre. Puisqu'aucun système de freinage n'est activé, l'arbre est libre de tourné dans l'un ou l'autre sens.

De manière avantageuse, les systèmes de freinage sont choisis de sorte à présenter une capacité de couple considérablement plus importante que celle du moteur, ce qui permet d'éviter les risques potentiels pour l'utilisateur qui existeraient si le moteur était capable d'imposer un effort actif trop important.

Dans le cas où le moteur présente une capacité de couple réduite par rapport à celle des systèmes de freinage, l'actionneur peut être commandé selon les manières avantageuses suivantes.

Selon une première méthode de commande, le moteur est utilisé uniquement pour fournir un couple actif. Sauf dans le cas où la vitesse mesurée est nulle, le moteur et le système de freinage adaptés sont activés. La consigne est envoyée au moteur. La différence entre la consigne et la saturation du moteur est envoyée au système de freinage. Le système de freinage complète le couple maximal que peut fournir le moteur pour fournir la force requise par la consigne.

Ce fonctionnement permet d'utiliser davantage les systèmes de freinage pour dissiper de l'énergie, tandis que le moteur est activé uniquement pour fournir un effort actif ou lorsque la vitesse est nulle. La consommation d'énergie est également réduite. Cette première méthode de commande permet avantageusement de rendre l'actionneur actif lorsque l'opérateur relâche le levier et est également capable d'éliminer le phénomène de collage dans la simulation d'un mur virtuel, phénomène qui apparaît lorsque l'actionneur est du type uniquement dissipatif. En effet, lorsque le moteur a la même capacité de couple que celle des freins, puisque l'arbre peut tourner grâce à la mise en œuvre de la roue libre, le moteur peut imposer un couple actif qui supprime le retard apparaissant avec les actionneurs passifs lorsque l'opérateur recule face au mur virtuel.

Selon une deuxième méthode de commande, quelle que soit la vitesse mesurée, le moteur fournit un effort dissipatif tant que le couple requis par la consigne est inférieur à la saturation du moteur. Une fois la saturation du moteur dépassée, le système de freinage est activé pour compenser la différence entre la consigne et la saturation du moteur. De ce fait, le moteur est utilisé pour fournir des efforts modestes, qui peuvent être actifs ou dissipatifs, tandis que le système de freinage est utilisé uniquement pour fournir des grandes forces de résistance. Le moteur est donc utilisé pour dissiper de l'énergie tant que les efforts sont faibles. Cette technique permet que l'actionneur ait un comportement actif en faible régime de forces, i.e. forces limitées à la saturation du moteur ne présentant pas de risques potentiels pour l'utilisateur.

Par exemple pour une application aux systèmes de conduite du type steer-by-wire, il est alors possible de transmettre de vibrations contrôlables au volant.

Dans les deux méthodes de commande, le couple moteur n'est pas annulé par le frein.

La deuxième méthode de commande présente l'avantage d'être suffisante pour la commande d'interfaces à un ou deux degrés de liberté. La première méthode de commande est suffisante pour la commande d'interfaces à un degré de liberté.

Ces deux méthodes de commandes sont basées seulement sur deux éléments d'information, la vitesse mesurée et la force calculée par le simulateur. Il en résulte que la commande est indépendante de la simulation et n'a pas besoin de mesure de la force d'interaction. Par conséquent, l'actionneur et ses méthodes de commande sont adaptables à une large gamme d'interfaces à retour de forces et peuvent améliorer les performances de tels dispositifs et réduire l'énergie nécessaire à la synthèse d'un rendu haptique.

Il a été constaté que le rapport couple/volume d'un frein magnéto-rhéologique peut atteindre 50 fois celui d'un moteur à courant continu. L'encombrement d'une interface mettant en œuvre un tel actionneur peut donc être sensiblement réduit.

Dans le cas où l'on souhaite un actionneur ne fonctionnant que dans un sens de rotation, celui-ci comporte un moteur, un système de freinage et une roue libre

reliant le système de freinage et le moteur. L'organe que manipule l'opérateur est en prise directe avec l'arbre du moteur. Si l'opérateur tourne le levier dans le sens de verrouillage de la roue libre, le couple de freinage appliqué par le frein s'oppose au déplacement de l'organe. Si l'opérateur tourne le levier dans le sens de déverrouillage de la roue libre, l'organe tourne librement. En revanche, le moteur sur l'axe duquel l'organe est en prise direct peut exercer un couple sur l'organe dans les deux sens de rotation. Les méthodes de commande de cet actionneur sont similaires celles décrites ci-dessus.

Sur la figure 2, on peut voir un deuxième mode de réalisation d'un actionneur selon l'invention dans lequel l'un des systèmes de freinage et la roue libre associé sont remplacés par un système 124 apte à inverser le sens de rotation, par exemple une boîte de vitesse.

L'actionneur comporte un premier arbre 103 sur lequel est montée une roue libre 104 et un système de freinage 108, un deuxième arbre 203 forme l'arbre traversant d'un moteur 218 dont une extrémité est destinée à être connectée à un organe d'interaction avec l'opérateur (non représenté). Le système d'inversion 24 connecte le premier arbre 103 et le deuxième arbre 203.

Le système de freinage 108 freine l'arbre 103 dans un seul sens et c'est le système d'inversion qui permet à l'actionneur A2 de fonctionner de manière similaire à l'actionneur A1 et de présenter les mêmes avantages. En effet, le système d'inversion est commandé de telle sorte qu'il commande le sens de freinage et grâce à la roue libre 104, le moteur 118 peut tourner dans le sens inverse.

Les méthodes de commande sont similaires celles décrites pour le premier mode de fonctionnement. Cependant au lieu de commander un deuxième système de freinage pour imposer un effort dissipatif dans le sens opposé à celui imposé par le système de freinage 108 et la roue libre 104, c'est la boîte de vitesse 124 qui est commandée pour inverser le sens de rotation transmis entre le premier arbre 103 et le deuxième arbre 203.

Dans un exemple avantageux, la boîte de vitesse possède différents rapports de transmission ainsi qu'une position neutre, ce qui permet d'augmenter la capacité de freinage du système de freinage et de découpler l'inertie de l'entrée.

Ce mode de réalisation permet de supprimer l'inertie d'une seconde roue libre et d'un second système de freinage. Il permet également de découpler l'inertie de système de freinage lorsque, uniquement, le moteur est utilisé.

5 Afin de réaliser une interface à deux ou trois degrés de liberté, on associe deux ou trois actionneurs à un degré de liberté selon l'invention respectivement.

L'actionneur selon l'invention peut être mis en œuvre pour réaliser des interfaces haptiques à retour de force, comme par exemple les volants à retour d'effort pour les jeux vidéo ou les systèmes de conduite (steer-by-wire), les joysticks à retour de force, les boutons programmables à retour de force, les dispositifs de formation médicale,  
10 les bras manipulateur pour la télé-opération, etc...

## REVENDEICATIONS

1. Actionneur pour interface à retour de forces comportant un premier arbre (3) destiné à être solidaire en rotation d'un organe d'interaction de ladite interface, un moteur électrique (18) apte à mettre en rotation le premier arbre (3) dans un sens horaire et dans un sens antihoraire, un premier dispositif à roue libre (4) monté sur ledit premier arbre (3) et un premier système de freinage (8) apte à freiner la rotation dudit premier arbre (3) par l'intermédiaire du dispositif à roue libre (8), de sorte que le premier système de freinage impose une force résistante à la rotation au premier arbre dans un premier sens de rotation, ladite force étant contrôlée en intensité.

2. Actionneur selon la revendication 1, comportant un deuxième dispositif à roue libre (6) monté sur ledit premier arbre (3) en opposition par rapport au premier dispositif à roue libre (4), un deuxième système de freinage (10) apte à freiner la rotation dudit premier arbre (3) par l'intermédiaire du deuxième dispositif à roue libre (6) dans un sens opposé à celui du premier système de freinage (8).

3. Actionneur pour interface à retour de forces comportant un premier arbre (103) destiné à être solidaire en rotation d'un organe d'interaction de ladite interface, un moteur électrique (118) apte à mettre en rotation le premier arbre (103) dans un sens horaire et dans un sens antihoraire, un deuxième arbre (203) solidaire en mouvement du premier arbre (103), un premier dispositif à roue libre (104) monté sur le deuxième arbre (203) et un premier système de freinage (108) apte à freiner la rotation du deuxième arbre (203) par l'intermédiaire du dispositif à roue libre (104), et des moyens (124) connectant le deuxième arbre (203) au premier arbre (103), lesdits moyens (124) étant tels que le sens de rotation du premier (103) et du deuxième (203) arbre sont identiques ou opposés, de sorte que le premier système de freinage impose une force résistante à la rotation au premier arbre dans un premier sens de rotation, ladite force étant contrôlée en intensité.

4. Actionneur selon la revendication 3, dans lequel les moyens (124) pour sélectionner le sens dans lequel le premier arbre est freiné sont formés par une boîte de vitesse.

5. Actionneur selon la revendication 4, dans lequel la boîte de vitesse possède différents rapports de transmission.

5 6. Actionneur selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel le premier (8, 108) et/ou le deuxième système (10) de freinage sont des systèmes de freinage magnéto-rhéologiques.

10 7. Actionneur selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel le moteur (18, 118) est un moteur à courant continu.

8. Actionneur selon l'une des revendications 1 à 6, comportant un capteur de position du premier arbre.

15 9. Actionneur selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel le ou les systèmes de freinage (8, 10, 10) présente(nt) une capacité de couple supérieure à celle du moteur.

20 10. Interface comportant au moins un actionneur (A1, A2) selon l'une des revendications 1 à 9, un organe d'interaction avec l'opérateur solidaire en rotation du premier arbre et un contrôleur (22) commandant le moteur et le ou les systèmes de freinage.

25 11. Interface selon la revendication 10 dans lequel l'actionneur (A1, A2) est asservi en force.

12. Interface selon la revendication 10 ou 11, dans lequel le contrôleur (22) comporte des moyens pour comparer le signe de la vitesse du premier arbre et celui de la consigne.

30 13. Interface selon l'une des revendications 10 à 12, dans lequel le contrôleur (22) commande l'un des systèmes de freinage (8, 10, 108) et le moteur (10, 118) pour qu'ils freinent tous deux la rotation du premier arbre.

14. Interface selon l'une des revendications 10 à 13, dans lequel le moteur (108, 118) participe au freinage uniquement quand la vitesse mesurée est nulle ou quand un effort actif est requis.

5                   15. Procédé de commande d'un actionneur d'une interface à retour de forces selon l'une des revendications 10 à 14, comportant les étapes :

- comparaison du signe de la vitesse de rotation du premier arbre portant l'organe d'interaction avec l'opérateur avec le signe de la force de consigne,
- envoi d'un ordre de commande au moteur et/ou à l'un des systèmes

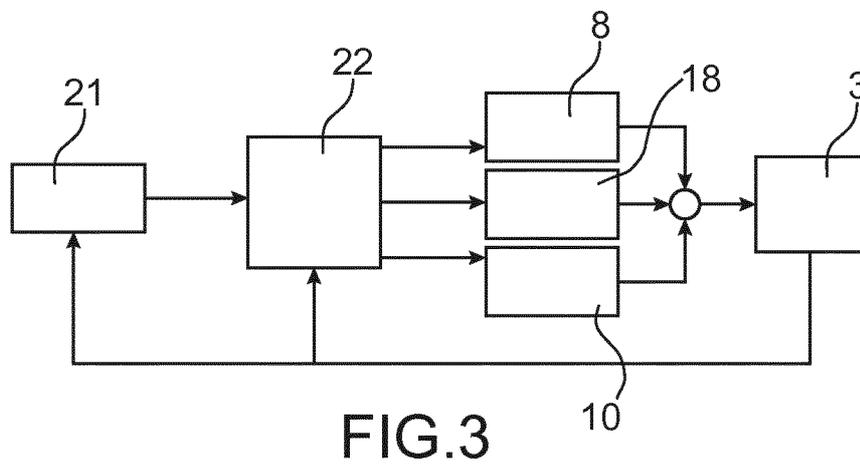
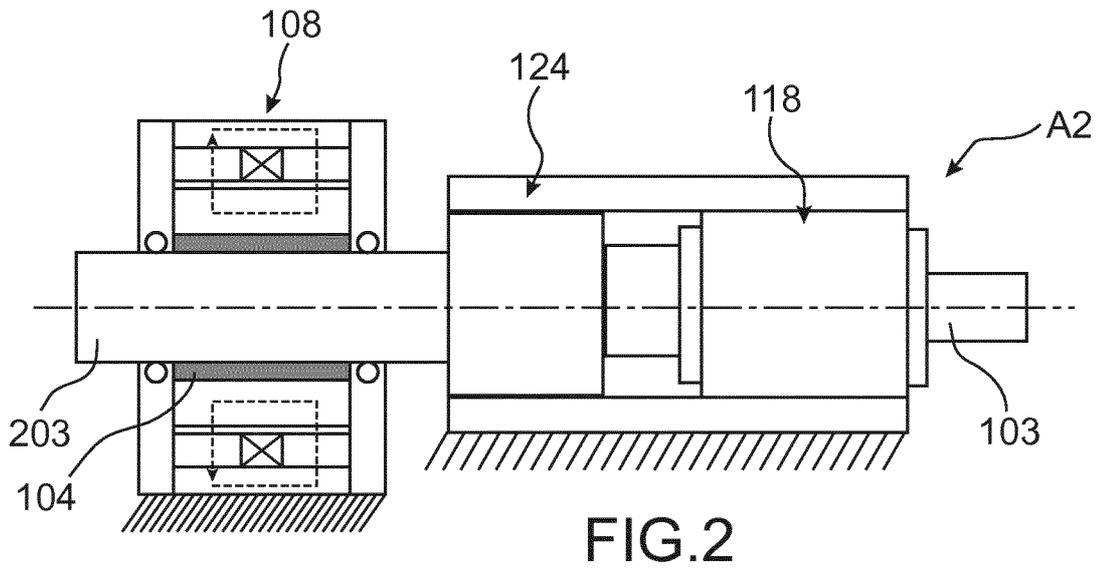
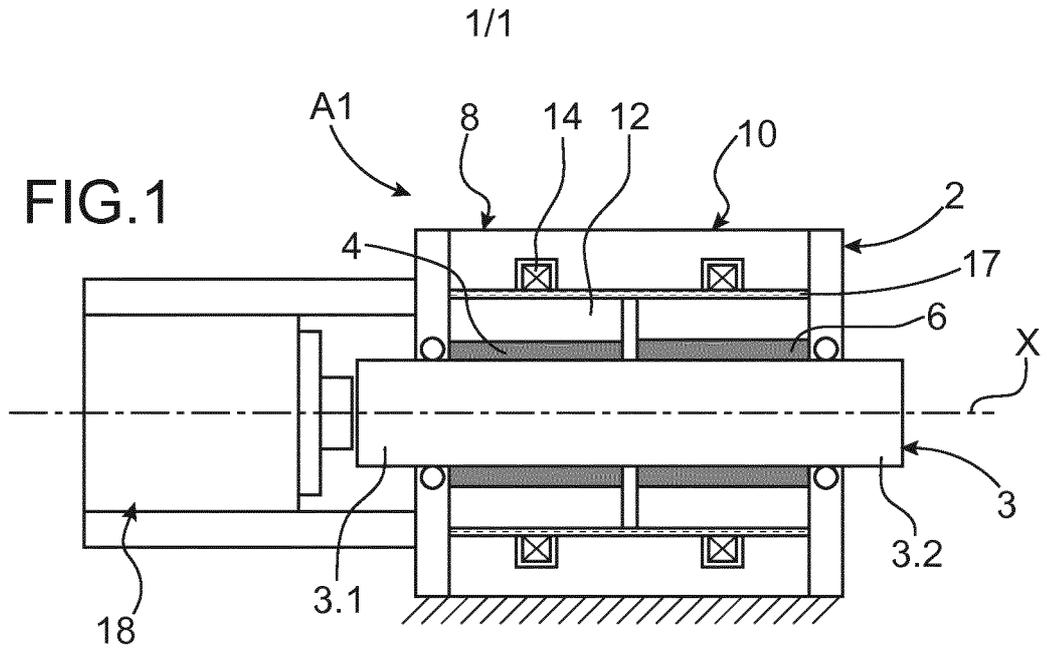
10 de freinage,

- application d'un effort dissipatif et/ou d'un effort actif audit premier bras.

16. Procédé de commande selon la revendication 15, dans lequel, pour une vitesse mesurée du premier arbre non nulle, l'un ou l'autre des systèmes de freinage est activé pour exercer un effort dissipatif et le moteur est activé pour fournir un effort actif.

17. Procédé de commande selon la revendication 16, dans lequel, lorsque la vitesse du premier arbre mesurée est nulle, le moteur et l'un ou l'autre des systèmes de freinage sont activés simultanément.

18. Procédé de commande selon la revendication 15, dans lequel le moteur fournit un effort dissipatif et l'un ou l'autre des systèmes de freinage sont activés lorsque le moteur atteint son régime de saturation.



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No  
PCT/EP2013/062655

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 INV. G06F3/01 F16D41/00  
 ADD.  
 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)  
 G06F F16D

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 practicable, 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.
A	FR 2 691 093 A1 (UNIV JOSEPH FOURIER [FR]) 19 November 1993 (1993-11-19) page 3, line 5 - page 8, line 33; figure 1 -----	1-18
A	US 5 275 261 A (VRANISH JOHN M [US]) 4 January 1994 (1994-01-04) column 3, lines 24-49; figure 1 -----	1-18

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 application or patent 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  
 27 August 2013

Date of mailing of the international search report  
 05/09/2013

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

Authorized officer  
 Arranz, José

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2013/062655

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR 2691093	A1	19-11-1993	
		DE 69317941 D1	20-05-1998
		DE 69317941 T2	19-11-1998
		EP 0574330 A1	15-12-1993
		FR 2691093 A1	19-11-1993
		US 5399951 A	21-03-1995
-----			
US 5275261	A	04-01-1994	NONE
-----			

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2013/062655

<b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b> INV. G06F3/01 F16D41/00 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
<b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b> Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G06F F16D		
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		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	FR 2 691 093 A1 (UNIV JOSEPH FOURIER [FR]) 19 novembre 1993 (1993-11-19) page 3, ligne 5 - page 8, ligne 33; figure 1	1-18
A	US 5 275 261 A (VRANISH JOHN M [US]) 4 janvier 1994 (1994-01-04) colonne 3, ligne 24-49; figure 1	1-18
<input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> 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  27 août 2013		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale  05/09/2013
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, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé  Arranz, José

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2013/062655

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2691093	A1	19-11-1993	DE 69317941 D1	20-05-1998
			DE 69317941 T2	19-11-1998
			EP 0574330 A1	15-12-1993
			FR 2691093 A1	19-11-1993
			US 5399951 A	21-03-1995
-----				
US 5275261	A	04-01-1994	AUCUN	
-----				