(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** ***3 110 713***

(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **20 05321**

(51) Int Cl[8] : ***G 02 B 7/185*** *(2019.12), G 02 B 7/183*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 20.05.20.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 26.11.21 Bulletin 21/47.

(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 :**

◯ **Demande(s) d'extension :**

(71) **Demandeur(s) :** *Airbus Defence and Space SAS Société par actions simplifiée (SAS)* — FR.

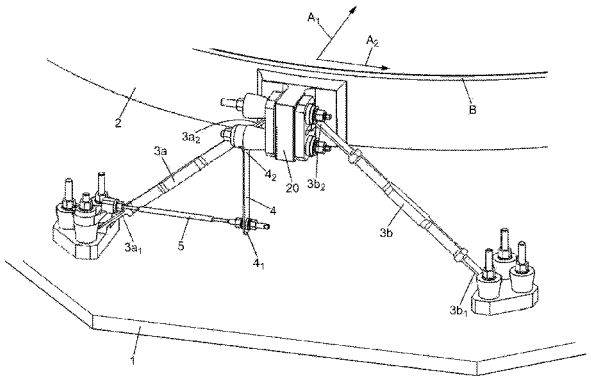
(72) **Inventeur(s) :** CASTEL Didier, CHAUMEIL Frédéric et CARMINATI LIONEL.

(73) **Titulaire(s) :** Airbus Defence and Space SAS Société par actions simplifiée (SAS).

(74) **Mandataire(s) :** Plasseraud IP.

(54) FIXATION D'UN MIROIR SUR UN SUPPORT.

(57) Un système de fixation d'un miroir (2) sur un support (1) comprend des structures intermédiaires (3), par exemple de type bipodes. Certaines au moins desdites structures intermédiaires sont munies de dispositifs de torsion, permettant de compenser au moins partiellement des aberrations optiques d'un instrument qui comprend le miroir. Chaque dispositif de torsion peut comprendre un élément élastique (4) et un variateur (5). Le variateur est conçu pour contrôler une déformation de l'élément élastique dont résulte un moment de torsion qui est appliqué au miroir.Figure d'abrégé : Figure 1b



FR 3 110 713 - A1

Description

Titre de l'invention : FIXATION D'UN MIROIR SUR UN SUPPORT

Domaine technique

[0001] La présente description concerne un système de fixation d'un miroir sur un support, un instrument qui incorpore un tel système de fixation, ainsi qu'un procédé d'ajustement de l'instrument.

Technique antérieure

[0002] Il est bien connu que la qualité des images qui sont formées par un instrument d'imagerie peut être dégradée par des déformations qui affectent certains composants optiques de l'instrument, tels que des miroirs, et qui sont produites involontairement lors de l'assemblage de l'instrument ou antérieurement pendant la production de ces composants. Ces dégradations de la qualité d'imagerie résultent notamment de l'étape de fixation d'au moins l'un des composants optiques sur un support de ce composant. En effet, cette étape de fixation est susceptible de produire des contraintes permanentes dans le composant, qui provoquent des déformations d'une surface optique de celui-ci. Ces déformations de surface optique, même si elles correspondent à des déplacements de l'ordre de 10 nm (nanomètre), sont responsables de la dégradation de la qualité optique de l'instrument.

[0003] De même, il est connu que des variations dans des conditions de gravité auxquelles est soumis un instrument d'imagerie peuvent aussi provoquer des déformations de certains de ses composants optiques, et par suite générer une dégradation de la qualité d'imagerie. Tel est le cas pour un instrument d'imagerie entre un premier instant auquel il a été assemblé sur Terre, par exemple lorsque l'instrument est intégré à un satellite, et un instant de mission auquel l'instrument est utilisé à bord du satellite une fois que ce dernier est en orbite.

[0004] Souvent, pour ces deux causes de dégradation de qualité d'imagerie, les dégradations sont d'autant plus importantes que celui des composants optiques de l'instrument qui est l'objet des déformations involontaires possède de grandes dimensions. Ainsi, lorsque l'instrument est un télescope, le miroir primaire de ce télescope est tout particulièrement affecté. La principale aberration optique que présente alors l'instrument est le plus souvent de l'astigmatisme, mais d'autres aberrations telles qu'un trèfle, ou «trefoil» en anglais, peuvent aussi être générées.

[0005] Lorsque l'aberration optique est produite lors de l'assemblage de l'instrument, ou lors de son intégration dans une structure porteuse telle qu'un satellite, la fixation sur son support d'un des composants optiques de l'instrument qui est responsable de la dé-

gradation de qualité d'imagerie, peut être recommencée avec des précautions supplémentaires afin de réduire les contraintes qui sont générées involontairement. Mais il en résulte des retards d'assemblage qui peuvent être très coûteux, et le gain en qualité d'imagerie à chaque répétition de l'assemblage n'est pas garanti.

[0006] Lorsque l'aberration optique est produite par une variation de condition de gravité, les déformations des composants optiques que provoque cette variation peuvent prises en compte lors de la conception de ces composants. Mais alors, il n'est pas possible d'optimiser la qualité d'imagerie de l'instrument une fois que son satellite porteur a été mis en orbite.

[0007] Ces difficultés ne sont pas limitées à un instrument d'imagerie, mais concernent de façon générale un instrument qui comprend au moins un miroir, quelle que soit la fonction de l'instrument. Un tel instrument possède en général une fonction de collecte de rayonnement, qui peut être combinée avec une autre fonction, telle qu'une utilisation du rayonnement collecté pour former une image ou pour détecter un signal qui est transmis par le rayonnement collecté. Dans le cas d'une fonction de détection, l'aberration optique qui est produite par la déformation du miroir peut être déterminée pour une longueur d'onde qui n'appartient pas au domaine spectral du rayonnement qui est concerné par l'utilisation de l'instrument. Néanmoins, l'aberration optique pour la longueur d'onde qui est utilisée pour déterminer cette aberration, caractérise la dégradation de la qualité selon laquelle l'instrument produit sa fonction.

Problème technique

[0008] A partir de cette situation, un but de la présente invention est de permettre de corriger certaines déformations qui affectent un miroir, sans nécessiter que ce miroir soit démonté de son support.

[0009] Un but complémentaire de l'invention est qu'une correction qui est appliquée pour tenter de réduire une déformation du miroir, soit réversible afin de permettre de tester cette correction puis de la retirer si elle ne produit pas l'amélioration attendue pour le fonctionnement de l'instrument.

[0010] Un autre but complémentaire de l'invention est de proposer un mode de correction de déformations d'un miroir qui soit compatible avec les systèmes existants de fixation de miroirs, de préférence sans les affecter.

Résumé de l'invention

[0011] Pour atteindre l'un au moins de ces buts ou un autre, un premier aspect de l'invention propose un nouveau système de fixation d'un miroir sur un support de ce miroir, qui comprend :

- au moins trois structures intermédiaires, destinées chacune à être connectée au support par une première interface de la structure intermédiaire, et à être connectée ri-

gidement au miroir par une seconde interface de la structure intermédiaire, de façon à ce que les au moins trois structures intermédiaires réalisent ensemble une fixation rigide du miroir au support, les structures intermédiaires étant réparties angulairement autour d'un centre du miroir en étant distantes de ce centre.

[0012] De préférence, les structures intermédiaires peuvent produire une liaison isostatique entre le miroir et son support. En outre, ces structures intermédiaires peuvent être d'un modèle quelconque, par exemple de type bipode ou monopode. Dans le cas de structures intermédiaires de type bipode, trois structures sont nécessaires pour produire une liaison isostatique. Alternativement, six structures intermédiaires chacune de type monopode sont nécessaires pour produire encore une liaison isostatique.

[0013] Selon l'invention, le système de fixation comprend en outre au moins un dispositif de torsion, chaque dispositif de torsion étant dédié à une seule des structures intermédiaires et comprenant :

- au moins un élément élastique, qui possède deux extrémités, une première de ces extrémités étant reliée à la première interface de la structure intermédiaire, et une seconde de ces extrémités étant reliée rigidement à la seconde interface de la structure intermédiaire, l'élément élastique étant agencé pour appliquer un moment de torsion au miroir, directement ou à travers la seconde interface de la structure intermédiaire ; et
- un variateur, qui est couplé à l'élément élastique de façon à modifier une valeur du moment de torsion appliqué au miroir directement ou à travers la seconde interface de la structure intermédiaire.

[0014] Au sens de l'invention, on entend par moment de torsion qui est appliqué directement au miroir une configuration où la seconde extrémité de l'élément élastique est fixée sur le miroir. Dans une configuration où le moment de torsion est appliqué au miroir à travers la seconde interface de la structure intermédiaire, la seconde extrémité de l'élément élastique peut être reliée à un élément quelconque de cette seconde interface.

[0015] Ainsi, l'élément élastique produit le moment de torsion, conformément à un état en cours du variateur, et transmet ce moment de torsion au miroir ou à la seconde interface de la structure intermédiaire. Dans ce dernier cas, le moment de torsion est appliqué au miroir par cette seconde interface de la structure intermédiaire. De cette façon, l'invention ajoute à chaque structure intermédiaire, ou à certaines au moins de celles-ci, en plus de sa fonction de fixation du miroir sur le support, une fonction de transmission d'un moment de torsion au miroir. La valeur de ce moment de torsion peut être ajustée au moyen du variateur, d'une façon qui est rendue facile par la corrélation entre cette valeur du moment de torsion et une amplitude de déformation qui est produite par le variateur sur l'élément élastique. Il est ainsi possible d'ajuster le moment de torsion qui est appliqué au miroir pour compenser au moins partiellement un effort ou un moment involontaire qui serait appliqué au miroir du fait de sa fixation

au support.

[0016] Un premier avantage du système de l'invention provient du fait qu'il n'est pas nécessaire de séparer à nouveau le miroir du support pour réduire les déformations du miroir qui sont provoquées par son assemblage au support. En effet, le système de l'invention permet un assemblage en deux phases successives. Lors de la première phase, le miroir est fixé au support au moyen des structures intermédiaires. Cette fixation peut générer des contraintes dans le miroir, et donc des déformations de sa surface optique. Mais lors d'une seconde phase, postérieure à la première, chaque variateur peut être ajusté afin d'appliquer un moment de torsion au miroir qui réduit ses déformations. L'assemblage du miroir avec son support ne nécessite donc pas d'être démonté puis remonté à plusieurs reprises pour parvenir à une faible déformation du miroir. Des gains importants de temps et de coût de main d'œuvre en résultent.

[0017] Un deuxième avantage de l'invention résulte du fait que chaque dispositif de torsion présente un fonctionnement réversible. Ainsi, chaque variateur peut être placé dans un état initial pour produire une valeur d'essai pour le moment de torsion qui est appliqué au miroir à travers la structure intermédiaire correspondante. Puis, si la modification de la forme du miroir qui en résulte ne réduit pas sa déformation telle que provoquée par la première phase d'assemblage, l'état du variateur peut être modifié pour tester une autre valeur du moment de torsion. Le système de l'invention permet donc une correction progressive et empirique de la déformation du miroir.

[0018] Un troisième avantage de l'invention réside dans le fait qu'elle ne nécessite pas de modifier le miroir ni les structures intermédiaires, puisque chaque dispositif de torsion peut être ajouté à l'une des structures intermédiaires en la reliant de façon supplémentaire au support et au miroir. Des conceptions déjà disponibles pour le miroir, le support et les structures intermédiaires peuvent donc être reprises, sans nécessiter de nouveaux investissements de conception et de développement pour ces composants.

[0019] Le nombre de structures intermédiaires dans le système de fixation, qui sont munies de dispositifs de torsion selon l'invention, peut être quelconque. En particulier, le système de fixation peut comprendre deux ou trois structures intermédiaires qui sont munies chacune d'un dispositif de torsion indépendant de celui de chaque autre structure intermédiaire. Si deux structures intermédiaires de type bipode, pour une fixation isostatique du miroir sur son support, sont pourvues de dispositifs de torsion, des aberrations optiques du miroir de type astigmatisme peuvent être compensées. Si les trois structures intermédiaires de type bipode d'une fixation isostatique du miroir sur son support, sont pourvues de dispositifs de torsion, alors des aberrations optiques du miroir de type trèfle peuvent en plus être compensées.

[0020] De façon préférée, la première extrémité de l'élément élastique peut être reliée di-

rectement à la première interface de la structure intermédiaire. Toutefois, elle peut alternativement être reliée à la première interface de la structure intermédiaire par une partie du support qui est située entre cette première interface et un point de liaison de la première extrémité de l'élément élastique au support.

[0021] De même, la seconde extrémité de l'élément élastique peut être reliée directement à la seconde interface de la structure intermédiaire. Toutefois, elle peut alternativement être reliée à la seconde interface de la structure intermédiaire par une partie du miroir qui est située entre cette seconde interface et un point de liaison de la seconde extrémité de l'élément élastique au miroir.

[0022] Possiblement aussi, la liaison de la première extrémité de chaque élément élastique à la première interface de la structure intermédiaire correspondante ou au support, et/ou la liaison de la seconde extrémité de chaque élément élastique à la seconde interface de la structure intermédiaire correspondante ou au miroir, peut comprendre des pièces intermédiaires. Notamment, la liaison de la première extrémité de chaque élément élastique à la première interface de la structure intermédiaire correspondante ou au support peut comprendre une partie au moins du variateur.

[0023] Dans des premiers modes de réalisation de l'invention, chaque élément élastique peut comprendre une lame qui s'étend entre la première et la seconde extrémité de cet élément élastique. Alors, le variateur peut être agencé pour déplacer la première extrémité de façon à produire une déformation de la lame par flexion, cette déformation par flexion produisant, au niveau de la seconde extrémité, le moment de torsion qui est appliqué au miroir. Dans de tels premiers modes de réalisation, un matériau de l'élément élastique de chaque dispositif de torsion peut être identique à celui de la structure intermédiaire à laquelle ce dispositif de torsion est dédié. Une telle identité de matériau permet que la valeur du moment de torsion reste identique lorsqu'une température du système de fixation varie. D'une façon plus générale, chaque variateur peut posséder un fonctionnement mécanique ou à base d'au moins une cellule piézoélectrique, pour déplacer la première extrémité de l'élément élastique par rapport au support du miroir. La forme de l'élément élastique n'est alors pas limitée à celle d'une lame. Le fonctionnement du variateur peut être mécanique et adapté pour être actionné manuellement. Un tel réglage manuel peut être effectué initialement, c'est-à-dire avant que l'instrument qui comprend le miroir soit utilisé pour son application, par exemple avant d'être utilisé en mission à bord d'un satellite. Alternativement, le variateur peut être adapté pour être actionné à distance par l'intermédiaire d'une commande électrique qui est adressée à ce variateur. Il est alors possible d'actionner le variateur à distance et éventuellement à multiples reprises pendant la durée de vie de l'instrument, notamment alors que l'instrument est à bord d'un satellite en orbite.

[0024] Dans d'autres modes de réalisation de l'invention, chaque élément élastique peut comprendre un assemblage bilame à déformation thermique qui s'étend entre la première et la seconde extrémité de cet élément élastique. Alors, le variateur peut être adapté pour appliquer une variation de température à l'assemblage bilame, de sorte que ce dernier produise, au niveau de la seconde extrémité, le moment de torsion qui est appliqué au miroir en réponse à la variation de température.

[0025] De façon générale pour l'invention, chaque dispositif de torsion peut être agencé de sorte que le moment de torsion qui est appliqué au miroir en étant généré par ce dispositif de torsion, soit parallèle à un premier axe qui est dirigé vers le centre du miroir à partir d'un endroit du miroir qui est le plus proche de la structure intermédiaire à laquelle est dédié ce dispositif de torsion. Une telle configuration est plus particulièrement adaptée pour corriger des aberrations optiques du miroir de type astigmatisme.

[0026] Alternativement, chaque dispositif de torsion peut être agencé de sorte que le moment de torsion soit parallèle à un second axe qui est tangent à un bord périphérique du miroir à un endroit du miroir qui est le plus proche de la structure intermédiaire à laquelle est dédié ce dispositif de torsion. Une telle autre configuration est adaptée pour corriger des aberrations optiques du miroir de type trèfle, notamment.

[0027] De façon encore générale pour l'invention, chaque structure intermédiaire peut être connectée au miroir, par la seconde interface de cette structure intermédiaire, au niveau du bord périphérique du miroir. Dans ce cas, la seconde interface est adaptée pour appliquer le moment de torsion sur le bord périphérique du miroir. Toutefois, il est aussi possible que la seconde interface de chaque structure intermédiaire soit située dans le miroir à distance de son bord périphérique, notamment lorsque le miroir est de grande taille.

[0028] Un second aspect de l'invention propose un instrument d'optique ou de collecte de rayonnement, qui comprend un miroir, un support, et un système de fixation qui est conforme au premier aspect de l'invention. Le système de fixation connecte alors rigidement le miroir au support, au sein de l'instrument.

[0029] Un tel instrument peut former un télescope. Dans ce cas, le miroir qui est connecté au support par le système de fixation peut avantageusement être le miroir primaire du télescope. En effet, le miroir primaire d'un télescope est couramment celui qui est le plus grand dans ce télescope, et dont des déformations involontaires dégradent le plus la fonction optique du télescope. Toutefois, l'invention peut aussi être appliquée aux miroirs d'un télescope autres que son miroir primaire.

[0030] Enfin, un troisième aspect de l'invention concerne un procédé d'ajustement d'un instrument d'optique ou de collecte de rayonnement, suivant lequel cet instrument comprend un miroir, un support, et un système de fixation qui est conforme au premier

aspect de l'invention. Le miroir est fixé rigidement sur le support au moyen des structures intermédiaires de l'instrument. Le procédé de l'invention comprend d'exécuter au moins une fois une séquence qui comprend les étapes suivantes :
/1/ caractériser au moins une aberration optique de l'instrument qui résulte au moins partiellement d'un écart de forme du miroir, par rapport à une forme de référence identifiée pour ce miroir ; et
/2/ pour au moins une des structures intermédiaires, ajuster le variateur du dispositif de torsion qui est dédié à cette structure intermédiaire, de façon à réduire l'au moins une aberration optique de l'instrument.

[0031] L'aberration optique qui est réduite en exécutant l'étape /2/ peut comprendre au moins un astigmatisme de l'instrument, un trèfle de l'instrument, ou une combinaison d'un astigmatisme et d'un trèfle de l'instrument. D'autres aberrations optiques, d'ordre supérieur, peuvent aussi être réduites de cette façon.

[0032] Lorsque ce procédé de l'invention est exécuté, l'instrument d'optique ou de collecte de rayonnement peut être installé à bord d'un satellite. Dans ce cas, la séquence qui comprend les étapes /1/ et /2/ peut être exécutée pendant une intégration de l'instrument dans le satellite, sur Terre avant le lancement du satellite. Alternativement, la séquence qui comprend les étapes /1/ et /2/ peut être exécutée ou répétée à bord du satellite après que celui-ci a été placé en orbite autour de la Terre.

Brève description des figures

[0033] Les caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront plus clairement dans la description détaillée ci-après d'exemples de réalisation non-limitatifs, en référence aux figures annexées parmi lesquelles :

[0034] [fig.1a] est une vue partielle en perspective d'un instrument qui correspond à un premier mode de réalisation de l'invention, dans lequel l'élément élastique est une lame qui est perpendiculaire à un bord périphérique de miroir ;

[0035] [fig.1b] est un agrandissement qui montre une structure intermédiaire de l'instrument de [Fig. 1a], avec le dispositif de torsion associé ;

[0036] [fig.1c] est un agrandissement supplémentaire qui montre le dispositif de torsion au sein de la structure intermédiaire de [Fig. 1b] ;

[0037] [fig.2] montre un deuxième mode de réalisation de l'invention, dans lequel l'élément élastique est une lame qui est parallèle à un bord périphérique de miroir ;

[0038] [fig.3] montre un troisième mode de réalisation de l'invention, dans lequel l'élément élastique est un assemblage bilame à déformation thermique ; et

[0039] [fig.4] est un diagramme des étapes d'un procédé conforme à l'invention, pour ajuster un instrument qui comprend un miroir.

Description détaillée de l'invention

[0040] Pour raison de clarté, les dimensions des éléments qui sont représentés dans ces figures ne correspondent ni à des dimensions réelles, ni à des rapports de dimensions réels. En outre, des références identiques qui sont indiquées dans des figures différentes désignent des éléments identiques ou qui ont des fonctions identiques.

[0041] [fig.1a] montre certains éléments ou parties d'éléments d'un instrument conforme à l'invention. Cet instrument, qui peut être un télescope, comprend un support 1 et un miroir 2. Le miroir 2, qui peut être le miroir primaire du télescope, peut avoir un bord périphérique circulaire, désigné par la référence B. La référence C désigne l'emplacement d'un centre du miroir 2. En fonction de la conception de l'instrument, le miroir 2 peut avoir une ouverture centrale, et le centre C peut alors être situé dans cette ouverture centrale. Par exemple, le miroir 2 peut être en carbure de silicium (SiC), et son rayon peut être de l'ordre de plusieurs dizaines de centimètres.

[0042] Le support 1 peut être en un alliage à base de titane (Ti) et/ou d'aluminium (Al), par exemple. Ses dimensions peuvent être adaptées pour que le miroir 2 soit fixé au support 1 à plusieurs endroits du bord B, par exemple à trois endroits qui sont écartés deux-à-deux d'environ 120° (degrés) autour du centre C. Toutefois, une telle répartition angulaire des endroits de fixation du miroir 2 au support 1 n'est pas indispensable. Il suffit en effet que la répartition des endroits de fixation du miroir 2 au support 1 procure au miroir une stabilité suffisante, et réduise des vibrations qui pourraient affecter le miroir et/ou le support.

[0043] Les références 3 désignent chacune une structure intermédiaire qui relie le miroir 2 au support 1, pour constituer toutes ensemble une liaison rigide du miroir au support. De préférence, le nombre et la conception des structures intermédiaires 3 sont sélectionnés pour constituer une liaison isostatique. Par exemple, trois structures intermédiaires 3 peuvent être utilisées, en étant chacune de type bipode. Ainsi, chaque structure intermédiaire 3 peut comprendre deux segments rigides, qui sont désignés par 3a et 3b. Les deux segments 3a et 3b d'une même structure intermédiaire 3 de type bipode relient chacun un endroit commun du bord B du miroir 2 à deux endroits écartés du support 1. De cette façon, chaque structure intermédiaire 3 constitue un triangle, qui est isocèle lorsque ses deux segments 3a et 3b ont des longueurs identiques. Les matériaux des segments 3a et 3b peuvent être adaptés en fonction de critères mécaniques et thermiques. Par exemple, les segments 3a et 3b peuvent être en un alliage à base de fer (Fe) et de nickel (Ni), tel que connu sous la désignation INVAR®. Comme cela apparaît dans [fig.1b] et [Fig. 1c], les deux extrémités de chaque segment 3a sont désignées par les références 3a1 et 3a2. De même, les deux extrémités de chaque segment 3b sont désignées par les références 3b1 et 3b2. Dans chaque structure intermédiaire 3, les extrémités de segments 3a1 et 3b1 sont connectées au support 1, à distance l'une de l'autre pour constituer un bipode. Par

exemple, ces extrémités de segments 3a1 et 3b1 sont connectées au support 1 chacune en utilisant un mode d'assemblage à boulons et écrous. Pour cet exemple de structure intermédiaire, les extrémités de segments 3a1 et 3b1 constituent la première interface de la structure intermédiaire 3, qui est destinée à être connectée au support 1 lorsque l'instrument est assemblé. Les extrémités de segments 3a2 et 3b2 sont connectées rigidement au bord B du miroir 2, à un même endroit de ce bord B. Par exemple, elles peuvent être boulonnées ensemble à une équerre de fixation 20 qui est intégrée au miroir 2 au niveau de son bord périphérique B. Les extrémités de segments 3a2 et 3b2 dans une même des structures intermédiaires 3 constituent la seconde interface de cette structure intermédiaire, qui est destinée à être connectée au miroir 2 lorsque l'instrument est assemblé. Toutes les structures intermédiaires 3 qui sont utilisées pour relier le miroir 2 au support 1 peuvent être identiques, mais sans que cela soit indispensable à la mise en œuvre de l'invention.

[0044] Selon l'invention, un dispositif de torsion est ajouté à l'une au moins des structures intermédiaires 3. De préférence, un tel dispositif de torsion est ajouté séparément à chacune des structures intermédiaires 3. Il peut être conçu pour produire un moment de torsion, ou une composante non-nulle de moment de torsion, qui est parallèle à l'un des axes A_1 ou A_2, ce moment de torsion étant évalué au niveau de la seconde interface de la structure intermédiaire 3 correspondante. A_1 est un axe qui relie cette seconde interface de la structure intermédiaire au centre C du miroir 2, en étant dirigé vers le centre C, et A_2 est un axe qui est tangent au bord périphérique B du miroir 2 à l'endroit de la structure intermédiaire concernée. Par exemple l'axe A_2 peut être orienté dans le sens direct, aussi dit sens trigonométrique ou antihoraire, autour de la surface réfléchissante du miroir 2. Chaque dispositif de torsion est adapté pour produire le moment de torsion tel que ce moment soit dans le même sens que l'axe A_1 ou A_2, ou dans le sens opposé, ou bien que la composante du moment de torsion selon l'axe A_1 ou A_2 soit positive ou négative.

[0045] Chaque dispositif de torsion comprend un élément élastique 4, à deux extrémités opposées qui sont désignées par les références 41 et 42, et un variateur 5. Dans certains modes de réalisation, tels que celui représenté dans [fig.1a]-[Fig. 1c], le variateur 5 peut relier l'extrémité 41 de l'élément élastique 4 au support 1, ou à un endroit de la structure intermédiaire 3 correspondante qui est proche du support 1. Préférablement, le variateur 5 peut relier l'extrémité 41 de l'élément élastique 4 à la première interface de la structure intermédiaire 3. Dans d'autres modes de réalisation, l'extrémité 41 de l'élément élastique 4 peut être reliée au support 1, ou à la première interface de la structure intermédiaire 3, indépendamment du variateur 5, et le variateur 5 peut être conçu pour générer une déformation contrôlée de l'élément élastique 4. [Fig. 3] montre un tel autre mode de réalisation, qui sera présenté plus loin. Dans tous les cas, la

seconde extrémité 42 de l'élément élastique 4 est connectée rigidement à la seconde interface de la structure intermédiaire 3. Par exemple, l'extrémité 42 de l'élément élastique 4 et les extrémités de segments 3a2 et 3b2 peuvent être boulonnées ensemble au miroir 2. Le variateur 5 est conçu pour contrôler le moment de torsion de sorte que celui-ci soit dans le même sens que l'axe A1 ou A2, ou dans le sens inverse, ou ait une composante positive ou négative selon l'axe A1 ou A2, lorsque ce moment de torsion est évalué au niveau de la seconde interface de la structure intermédiaire 3 concernée. Dans les modes de réalisation qui sont maintenant décrits en détail en référence à [Fig. 1]-[Fig. 3], l'élément élastique 4 possède une forme allongée entre ses deux extrémités 41 et 42, mais une telle forme n'est pas indispensable et l'Homme du métier saura identifier des formes alternatives qui sont aussi capables de produire des moments de torsion dont les valeurs sont contrôlables, et qui ont des caractéristiques d'élasticité appropriées.

[0046] Dans le mode de réalisation de [fig.1a]-[Fig. 1c], la liaison rigide entre la lame qui constitue l'élément élastique 4 et le miroir 2 est conçue pour que la lame soit orientée sensiblement perpendiculairement au bord B du miroir 2, et le variateur 5 est un tirant de longueur ajustable qui relie l'extrémité 41 de lame à un point qui est fixe par rapport au support 1. Le tirant qui constitue le variateur 5 peut alors être orienté sensiblement parallèlement au bord B, lorsqu'aucun moment de torsion n'est produit. Par exemple, le tirant peut être constitué de deux segments filetés mâles 51 et 52, et par un tube fileté femelle 53 dans lequel les segments filetés mâles 51 et 52 peuvent être plus ou moins vissés. Ainsi, une rotation du tube fileté 53, qui peut être effectuée manuellement par un opérateur, par exemple, produit un allongement ou un raccourcissement du tirant en fonction du sens de rotation et du nombre de tours. Le segment fileté mâle 51 est relié au support 1, et le segment fileté mâle 52 est relié à l'extrémité 41 de l'élément élastique 4, par exemple en utilisant une combinaison de rondelles concave et convexe. Lorsque le tirant qui constitue le variateur 5 est rallongé ou raccourci, il impose une courbure à la lame qui constitue l'élément élastique 4, avec un moment de torsion qui en résulte au niveau de l'extrémité 42. Pour le mode de réalisation représenté, ce moment de torsion est parallèle à l'axe A1, et est au moins partiellement appliqué au bord B du miroir 2. Il provoque alors une déformation locale de la surface réfléchissante du miroir 2, qui possède une composante de rotation autour de l'axe A1 dans un voisinage de la structure intermédiaire 3 concernée. Cette composante de rotation locale permet de compenser une aberration optique du miroir 2 qui pourrait être provoquée par le verrouillage de la seconde interface de la structure intermédiaire 3 sur l'équerre 20 du miroir 2. Pour un tel mode de réalisation de l'invention, la lame de l'élément élastique 4 et le tirant du variateur 5 peuvent avantageusement être constitués d'un même alliage que les segments 3a et 3b de chaque

structure intermédiaire 3. En effet, dans ces conditions, la valeur de chaque moment de torsion qui est appliqué au miroir 2 peut être sensiblement indépendante de la température d'utilisation de l'instrument, ou présenter une dépendance réduite par rapport à cette température.

[0047] [fig.2] correspond à [Fig. 1c] pour une autre disposition de la lame de l'élément élastique 4 et du tirant du variateur 5 : la lame est sensiblement parallèle au bord B du miroir 2 à l'endroit de la structure intermédiaire 3 considérée, et le tirant peut être orienté sensiblement perpendiculaire au bord B, lorsqu'aucun moment de torsion n'est produit. Le fonctionnement du dispositif de torsion est alors similaire à celui qui a été décrit en liaison avec [Fig. 1c].

[0048] L'utilisation d'un tirant tel que décrit précédemment est adaptée pour une opération de compensation d'aberration optique qui est effectuée manuellement par un opérateur. De tels modes de réalisation sont donc appropriés pour des instruments qui sont accessibles à un opérateur au moment où l'opération est effectuée. Tel est le cas pour un télescope qui est installé à bord d'un satellite, et pour lequel l'opération de compensation d'aberration optique est effectuée sur Terre, par exemple pendant l'intégration du satellite.

[0049] Dans d'autres modes de réalisation de l'invention, le tirant à actionnement manuel qui constitue le variateur 5 peut être remplacé par un tirant à commande électrique, qui peut par exemple incorporer un moteur pas-à-pas. Dans ce cas, chaque dispositif de torsion peut comprendre en outre une partie d'un contrôleur (non-représenté), qui permet de contrôler la longueur du tirant. De tels autres modes de réalisation peuvent permettre d'ajuster la valeur de chaque moment de torsion à distance, y compris une fois que le satellite porteur de l'instrument a été mis en orbite.

[0050] [fig.3] montre encore un autre mode de réalisation possible de l'invention, dans lequel l'élément élastique 4 est constituée par un assemblage bilame qui s'étend entre les extrémités 41 et 42. De tels assemblages bilames sont connus de l'Homme du métier, et sont constitués par deux lames d'alliages différents, qui sont connectées rigidement l'une à l'autre au niveau des extrémités 41 et 42. Les deux lames sont désignées par les références 4a et 4b. Les alliages respectifs des deux lames 4a et 4b sont sélectionnés pour avoir des valeurs différentes de coefficient de dilatation thermique. Leur extrémité commune 42 est encore connectée rigidement au miroir 2, et leur autre extrémité commune, correspondant à la référence 41, peut être connectée à un point qui est fixe par rapport au support 1 par une tige de longueur constante 6. Alors, le variateur 5 peut être constitué par un système chauffant qui est disposé pour varier la température de l'assemblage bilame 4a-4b. Il peut comprendre notamment au moins un élément chauffant, par exemple à base d'au moins une résistance électrique ou d'un élément radiatif. Lorsque cet élément chauffant est activé, l'assemblage bilame

4a-4b se déforme en se courbant et en prenant appui sur l'extrémité de la tige de longueur constante 6. Il produit alors, par réaction, un moment de torsion au niveau de son extrémité 42. Dans [Fig. 3], la représentation de l'assemblage bilame 4a-4b en traits continus peut correspondre à l'application au miroir 2 d'un couple de torsion d'une valeur et d'un signe déterminés, et le profil en traits interrompus qui est indiqué pour l'assemblage bilame 4a-4b peut correspondre à l'application au miroir 2 d'une autre valeur pour le moment de torsion, avec un signe qui peut être opposé.

[0051] La mise en œuvre des dispositifs de torsion est décrite maintenant en référence à [fig.4]. Le miroir 2 a été fixé rigidement au support 1 au moyens des structures intermédiaires 3 lors d'une étape préalable notée /0/. Cette étape /0/ est effectuée sur Terre, par exemple lors de l'intégration du télescope dans un satellite. Les étapes /1/ et /2/ du procédé de l'invention peuvent ensuite être effectuées aussi sur Terre, par exemple lors d'étapes additionnelles de l'intégration du télescope au satellite. Alternativement, les étapes /1/ et /2/ peuvent être effectuées dans les conditions d'utilisation du télescope, c'est-à-dire une fois que le satellite a été mis en orbite. Les ajustements qui sont alors appliqués aux variateurs 5 prennent directement en compte les conditions réelles d'utilisation du télescope, notamment l'intensité du champ de gravitation qui est effective pendant cette utilisation.

[0052] L'étape /1/ consiste à caractériser au moins une aberration optique du télescope, par exemple un astigmatisme, qui résulte d'une différence entre la forme réelle du miroir 2 et sa forme nominale. Toutefois, d'autres aberrations optiques du télescope peuvent être caractérisées alternativement ou en plus de l'astigmatisme, telles que des aberrations en trèfle. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour ces caractérisations d'aberrations optiques, qui sont connues de l'Homme du métier si bien qu'il n'est pas nécessaire de les répéter dans la présente description. Par exemple, des dispositifs spécifiques peuvent être utilisés pour caractériser la forme de front d'onde qui résulte de la réflexion sur le miroir 2 d'un rayonnement provenant d'une source lointaine.

[0053] Une unité de calcul (non-représentée) peut alors déterminer des déformations du miroir 2, à produire par les dispositifs de torsion décrits plus hauts, pour compenser au moins partiellement certaines des aberrations optiques qui ont été caractérisées à l'étape /1/. L'unité de calcul détermine ensuite les valeurs des moments de torsion qui sont nécessaires pour générer ces déformations, puis les modifications de longueur à appliquer aux éléments élastiques 4 de [fig.1a]-[Fig. 1c] ou [Fig. 2] pour produire ces valeurs de moments de torsion. Pour le mode de réalisation de [Fig. 3], l'unité de calcul détermine la température de chaque assemblage bilame 4a-4b, qui est nécessaire pour produire la valeur voulue de moment de torsion. Enfin, à l'étape /2/, les variateurs 5 sont ajustés manuellement ou par des commandes dédiées conformément aux valeurs déterminées par l'unité de calcul.

[0054] Possiblement, la séquence des étapes /1/ et /2/ peut être répétée une ou plusieurs fois pour améliorer progressivement la compensation des aberrations optiques du télescope.

[0055] Typiquement, chaque moment de torsion à appliquer peut être de l'ordre de quelques Newton-mètre (N·m), ou inférieur à 1 N·m. Il est ainsi possible de tourner la surface optique du miroir 2 de quelques dizaines de nanomètres (nm) localement dans un voisinage de chaque structure intermédiaire 3, autour d'une direction qui est parallèle à la surface optique du miroir.

[0056] Il est entendu que l'invention peut être reproduite en modifiant des aspects secondaires des modes de réalisation qui ont été décrits en détail ci-dessus, tout en conservant certains au moins des avantages cités. Notamment, chaque structure intermédiaire, l'élément élastique et le variateur de chaque dispositif de torsion peuvent avoir des conceptions et des configurations différentes de celles représentées dans les figures. De même, le miroir auquel l'invention est appliquée peut être dépourvu d'ouverture centrale, tous les matériaux qui ont été cités ne l'ont été qu'à titre d'exemples non-limitatifs et peuvent être changés en fonction de la conception de l'instrument, et toutes les valeurs numériques qui ont été citées ne l'ont été aussi qu'à titre d'illustration, et peuvent être changées en fonction de l'application considérée. Enfin, l'instrument auquel l'invention est appliquée peut avoir une fonction quelconque, et être destiné à des conditions quelconques d'utilisation, pas nécessairement à bord d'un satellite. Par exemple, il peut être destiné à collecter du rayonnement radiofréquence, et être installé sur Terre en étant supporté par une structure fixe.

Revendications

[Revendication 1] Système de fixation d'un miroir (2) sur un support (1) dudit miroir, comprenant les composants suivants :
- au moins trois structures intermédiaires (3), destinées chacune à être connectée au support (1) par une première interface de la structure intermédiaire, et à être connectée rigidement au miroir (2) par une seconde interface de la structure intermédiaire, de façon à ce que les au moins trois structures intermédiaires réalisent ensemble une fixation rigide du miroir au support, les structures intermédiaires étant réparties angulairement autour d'un centre (C) du miroir en étant distantes dudit centre,

caractérisé en ce que le système de fixation comprend en outre au moins un dispositif de torsion, chaque dispositif de torsion étant dédié à une seule des structures intermédiaires (3) et comprenant :
- au moins un élément élastique (4), qui possède deux extrémités (4_1, 4_2), une première desdites extrémités étant reliée à la première interface de la structure intermédiaire (3), et une seconde desdites extrémités étant reliée rigidement à la seconde interface de ladite structure intermédiaire, l'élément élastique étant agencé pour appliquer un moment de torsion au miroir (2), directement audit miroir ou à travers la seconde interface de la structure intermédiaire ; et
- un variateur (5), qui est couplé à l'élément élastique (4) de façon à modifier une valeur du moment de torsion appliqué au miroir (2) directement ou à travers la seconde interface de la structure intermédiaire (3).

[Revendication 2] Système de fixation selon la revendication 1, dans lequel chaque élément élastique (4) comprend une lame qui s'étend entre la première et la seconde extrémité (4_1, 4_2) dudit élément élastique (4),
et le variateur (5) est agencé pour déplacer la première extrémité (4_1) de façon à produire une déformation de la lame par flexion, la déformation par flexion produisant, au niveau de la seconde extrémité (4_2), le moment de torsion qui est appliqué au miroir (2).

[Revendication 3] Système de fixation selon la revendication 2, dans lequel un matériau de l'élément élastique (4) de chaque dispositif de torsion est identique à un matériau de la structure intermédiaire (3) à laquelle ledit dispositif de torsion est dédié.

[Revendication 4] Système de fixation selon l'une quelconque des revendications 1 à 3,

dans lequel chaque variateur (5) possède un fonctionnement mécanique ou à base d'au moins une cellule piézoélectrique, pour déplacer la première extrémité (4_1) de l'élément élastique (4) par rapport au support (1).

[Revendication 5] Système de fixation selon la revendication 4, dans lequel chaque variateur (5) possède un fonctionnement mécanique adapté pour être actionné manuellement, ou bien ledit variateur est adapté pour être actionné à distance par l'intermédiaire d'une commande électrique adressée audit variateur.

[Revendication 6] Système de fixation selon la revendication 1, dans lequel chaque élément élastique (4) comprend un assemblage bilame (4a, 4b) à déformation thermique qui s'étend entre la première et la seconde extrémité (4_1, 4_2) dudit élément élastique,
et le variateur (5) est adapté pour appliquer une variation de température à l'assemblage bilame (4a, 4b), de sorte que ledit assemblage bilame produise, au niveau de la seconde extrémité (4_2), le moment de torsion qui est appliqué au miroir (2) en réponse à la variation de température.

[Revendication 7] Système de fixation selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant deux ou trois structures intermédiaires (3) qui sont munies chacune d'un dispositif de torsion indépendant du dispositif de torsion de chaque autre structure intermédiaire.

[Revendication 8] Système de fixation selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque dispositif de torsion est agencé de sorte que le moment de torsion qui est appliqué au miroir en étant généré par ledit dispositif de torsion, est parallèle à un premier axe (A_1) qui est dirigé vers le centre (C) du miroir (2), ou parallèle à un second axe (A_2) qui est tangent à un bord périphérique (B) du miroir, à un endroit du miroir qui est le plus proche de la structure intermédiaire (3) à laquelle est dédié ledit dispositif de torsion.

[Revendication 9] Système de fixation selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque structure intermédiaire (3) est connectée au miroir (2), par la seconde interface de ladite structure intermédiaire, au niveau du bord périphérique (B) du miroir, et ladite seconde interface est adaptée pour appliquer le moment de torsion sur ledit bord périphérique du miroir.

[Revendication 10] Instrument d'optique ou de collecte de rayonnement, comprenant un miroir (2), un support (1), et un système de fixation qui est conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 9, ledit système de fixation

connectant rigidement le miroir au support.

[Revendication 11] Instrument d'optique selon la revendication 10, formant un télescope, et dans lequel le miroir (2) qui est connecté au support (1) par le système de fixation est un miroir primaire du télescope.

[Revendication 12] Procédé d'ajustement d'un instrument d'optique ou de collecte de rayonnement, suivant lequel ledit instrument comprend un miroir (2), un support (1), et un système de fixation qui est conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 9,
le miroir (2) étant fixé rigidement sur le support (1) au moyen des structures intermédiaires (3),
le procédé comprenant d'exécuter au moins une fois une séquence qui comprend les étapes suivantes :
/1/ caractériser au moins une aberration optique de l'instrument qui résulte au moins partiellement d'un écart de forme du miroir (2), par rapport à une forme de référence identifiée pour ledit miroir ; et
/2/ pour au moins l'une des structures intermédiaires (3), ajuster le variateur (5) du dispositif de torsion qui est dédié à ladite structure intermédiaire, de façon à réduire ladite au moins une aberration optique de l'instrument.

[Revendication 13] Procédé selon la revendication 12, suivant lequel l'aberration optique qui est réduite en exécutant l'étape /2/ comprend au moins un astigmatisme de l'instrument, un trèfle de l'instrument, ou une combinaison d'un astigmatisme et d'un trèfle de l'instrument.

[Revendication 14] Procédé selon la revendication 12 ou 13, suivant lequel l'instrument d'optique ou de collecte de rayonnement est installé à bord d'un satellite, et suivant lequel la séquence qui comprend les étapes /1/ et /2/ est exécutée pendant une intégration de l'instrument dans le satellite, sur Terre avant un lancement dudit satellite, et/ou exécutée ou répétée à bord du satellite après que ledit satellite a été placé en orbite autour de la Terre.

[Fig. 1a]

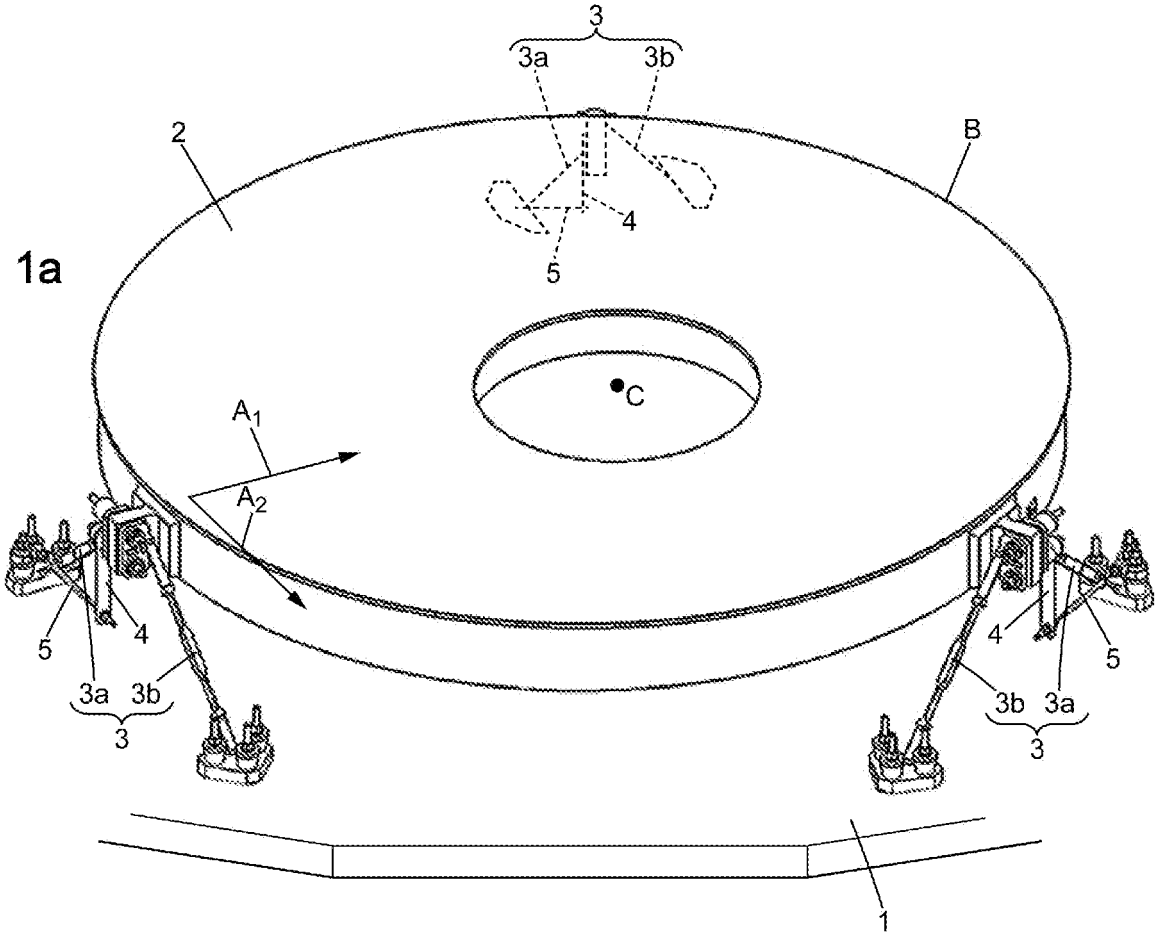


FIG. 1a

[Fig. 1b]

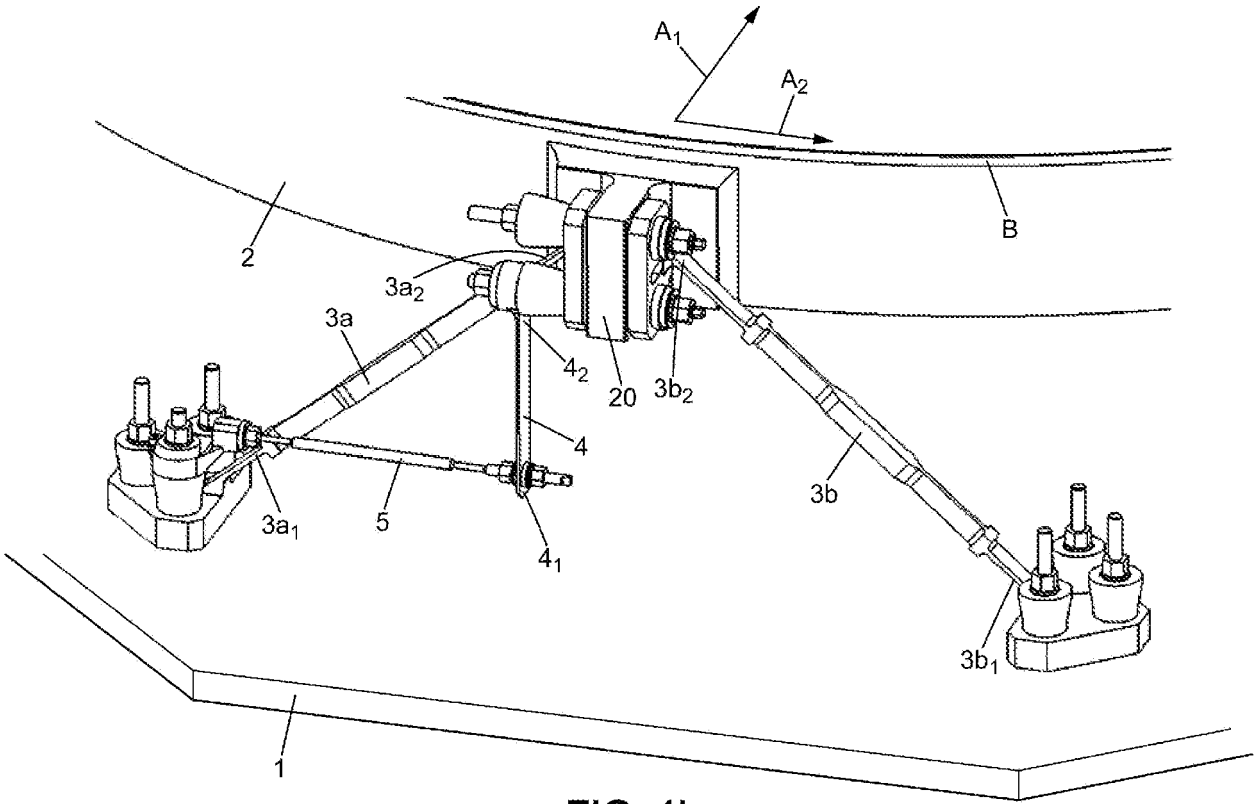


FIG. 1b

[Fig. 1c]

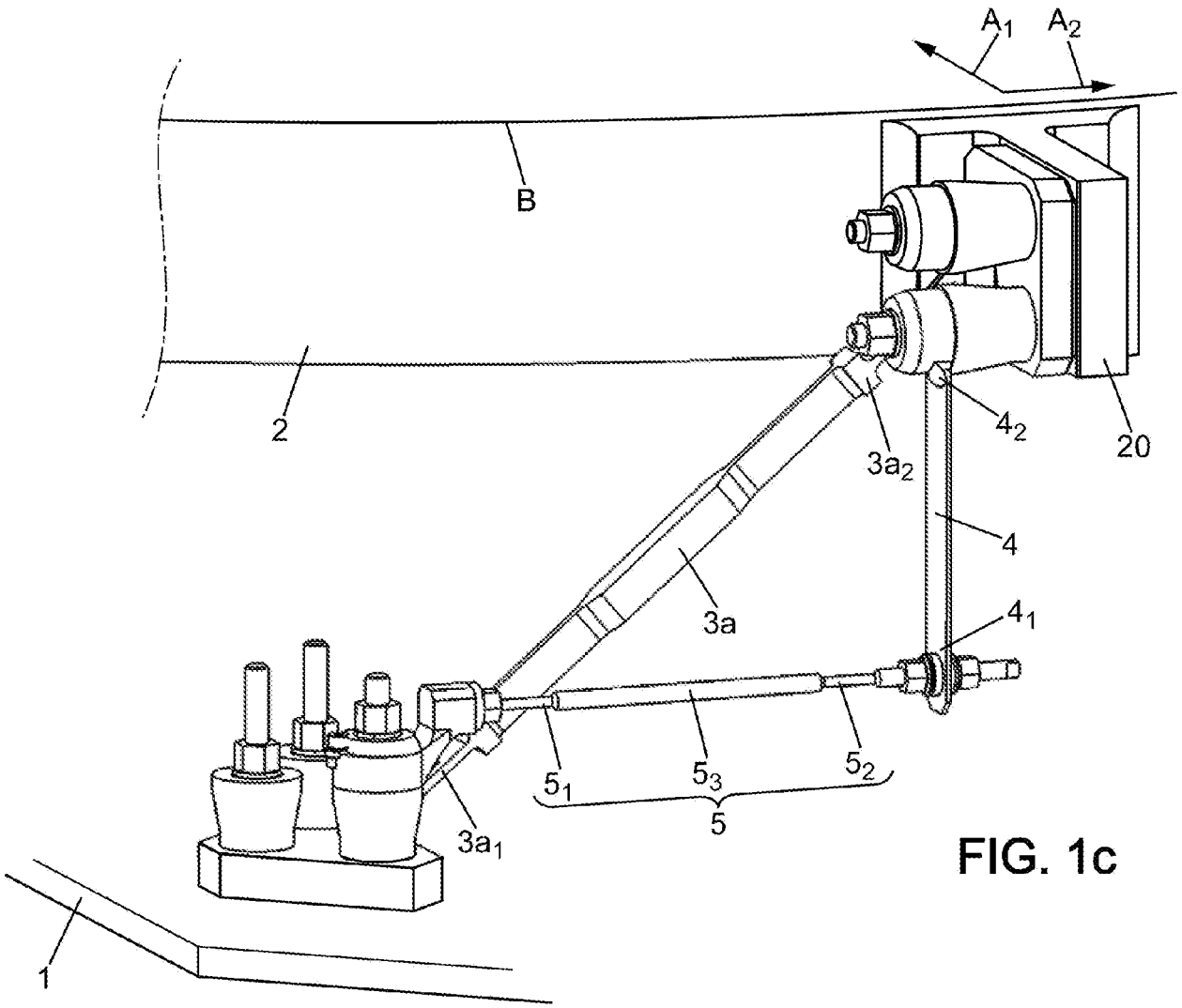


FIG. 1c

[Fig. 2]

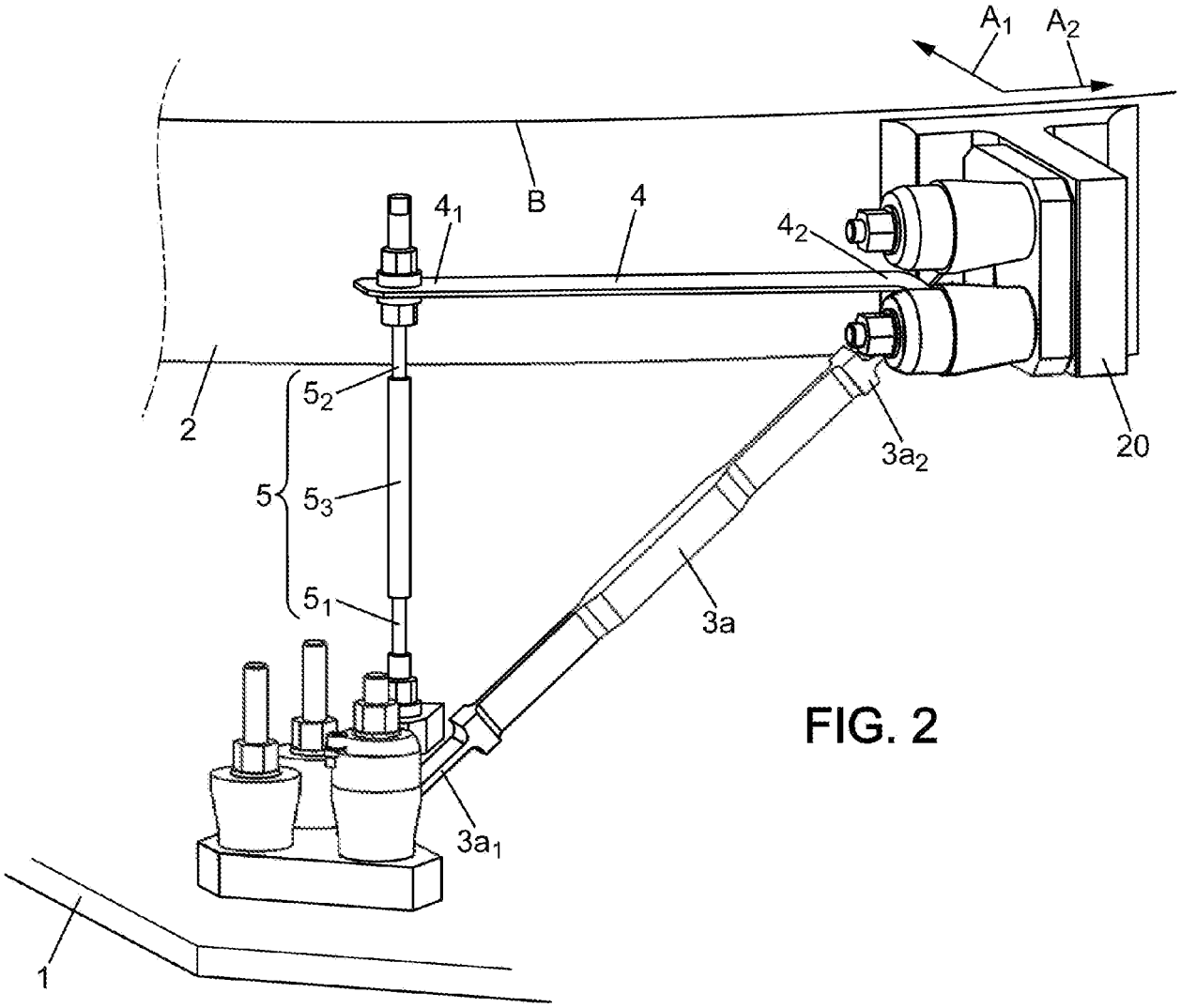


FIG. 2

[Fig. 3]

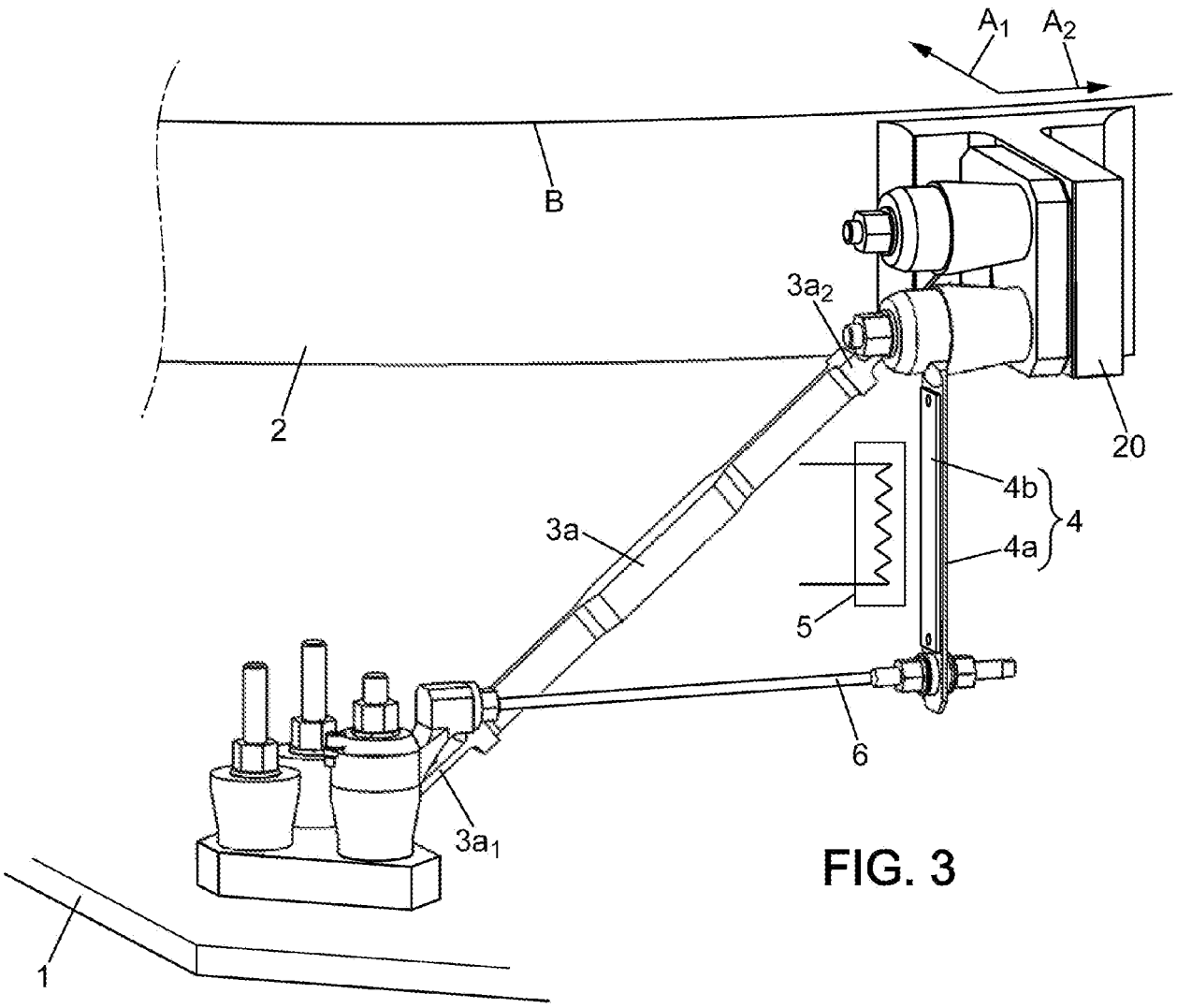


FIG. 3

[Fig. 4]

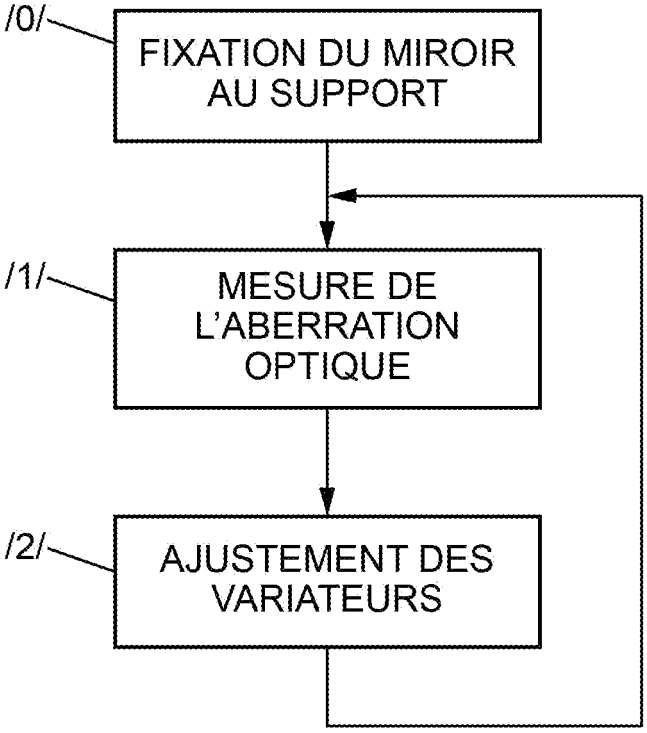

/0/
FIXATION DU MIROIR AU SUPPORT
/1/
MESURE DE L'ABERRATION OPTIQUE
/2/
AJUSTEMENT DES VARIATEURS

FIG. 4

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement national

FA 882706
FR 2005321

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		
A	US 2014/268380 A1 (SZILAGYI ANDREI [US]) 18 septembre 2014 (2014-09-18) * abrégé; figures 8-17 * * alinéa [0037] * * alinéa [0065] - alinéa [0084] *	1-14	G02B7/185 G02B7/183
A	FR 2 773 890 A1 (AEROSPATIALE [FR]) 23 juillet 1999 (1999-07-23) * abrégé; figures 1-7 * * page 4, ligne 17 - page 8, ligne 20 *	1-14	
A	US 4 655 563 A (PLANTE ROLAND L [US] ET AL) 7 avril 1987 (1987-04-07) * abrégé; figures 1-4 * * colonne 1, ligne 41 - colonne 2, ligne 41 *	1-14	
A	WO 2008/122313 A1 (ZEISS CARL SMT AG [DE]; GELLRICH BERNHARD [DE] ET AL.) 16 octobre 2008 (2008-10-16) * abrégé; figures 2,3 * * page 3, ligne 14 - page 6, ligne 2 *	1-14	

DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)

G02B

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
3 février 2021	Jakober, François

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2005321 FA 882706

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 03-02-2021
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 2014268380 A1	18-09-2014	AUCUN	
FR 2773890 A1	23-07-1999	AT 214488 T	15-03-2002
		CA 2318045 A1	29-07-1999
		DE 69901021 T2	14-11-2002
		EP 1049950 A1	08-11-2000
		FR 2773890 A1	23-07-1999
		JP 4372344 B2	25-11-2009
		JP 2002501222 A	15-01-2002
		US 6402329 B1	11-06-2002
		WO 9938044 A1	29-07-1999
US 4655563 A	07-04-1987	AUCUN	
WO 2008122313 A1	16-10-2008	TW 200901280 A	01-01-2009
		WO 2008122313 A1	16-10-2008
		WO 2008122626 A2	16-10-2008

EPO FORM P0465