

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 042 042

②1 N° d'enregistrement national : **15 02049**

⑤1 Int Cl⁸ : **G 02 B 17/06 (2017.01), G 01 J 3/02**

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

②2 Date de dépôt : 02.10.15.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 07.04.17 Bulletin 17/14.

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) : *THALES Société anonyme* — FR.

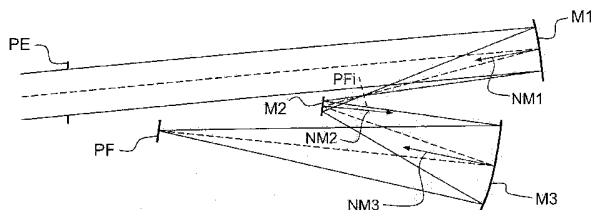
⑦2 Inventeur(s) : TETAZ NICOLAS.

⑦3 Titulaire(s) : THALES Société anonyme.

⑦4 Mandataire(s) : MARKS & CLERK FRANCE Société en nom collectif.

⑤4 **SYSTEME ANASTIGMAT A TROIS MIROIRS A FAIBLE DISTORSION.**

⑤7 L'invention concerne un système anastigmat à trois miroirs comportant au moins un premier miroir (M1) concave, un second miroir (M2) convexe et un troisième miroir (M3) concave, qui sont agencés de façon que le premier miroir forme d'un objet à l'infini, une image intermédiaire située entre le premier miroir et le deuxième miroir, le second miroir et le troisième miroir formant de cette image intermédiaire une image finale dans le plan focal du système. La normale (NM2) au centre de la surface du deuxième miroir convexe est inclinée de quelques degrés sur l'axe optique (X) du système, la surface du deuxième miroir convexe et la surface du premier miroir concave et/ou du troisième miroir concave sont des surfaces φ -polynomiales.



FR 3 042 042 - A1



SYSTEME ANASTIGMAT A TROIS MIROIRS A FAIBLE DISTORSION

Le domaine de l'invention est celui des télescopes à champ linéaire et/ou des collimateurs tels que ceux utilisés dans des spectromètres embarqués à bord de satellites.

5 Les télescopes à champ linéaire sont utilisés à bord de satellites fonctionnant en mode push-broom : un champ linéaire est projeté au sol, et le mouvement du satellite permet de balayer la surface de la Terre. Pour les récepteurs linéaires, le champ angulaire vaut quelques degrés dans une première direction de l'espace et quelques dixièmes de degrés dans la
10 direction perpendiculaire.

Les collimateurs ont pour fonction de collimater un faisceau issu d'une fente où est formée l'image issue du télescope, afin de placer sur le trajet du faisceau collimaté un dispositif de dispersion tel qu'un réseau de diffraction qui forme lui-même le spectre de l'image sur un détecteur, comme
15 illustré figure 1.

Du fait de la distorsion, l'image de la fente projetée sur Terre par le télescope, ou à l'infini par le collimateur, n'est plus linéaire mais courbe ; pour ce type de distorsion on parle classiquement de « smile » dans un spectromètre, dont un exemple est montré figure 2 avec la projection d'une
20 fente sans distorsion en trait pointillé et avec distorsion en trait plein. Le smile désigne la distorsion dans le sens vertical, la distorsion horizontale n'étant pas incluse dans ce terme.

Le « smile » n'est généralement pas gênant pour la projection sur Terre par le télescope : la rotondité de la Terre fait naturellement que la
25 projection de la fente est courbe.

Mais dans un spectromètre, le collimateur doit répondre à plusieurs besoins :

- Projeter la fente à l'infini
 - o avec la meilleure qualité image possible,
 - o avec un minimum de distorsion. En effet pour le collimateur le « smile » est problématique, car il est directement visible sur le
30 détecteur et pose des problèmes de co-registation spatiale. Ce « smile » doit donc être réduit au maximum ; les valeurs

recherchées sont de l'ordre du dixième de pixel au plan focal, soit 1 à 2 μ m.

- La pupille de sortie du collimateur doit être réelle et accessible afin d'y placer le disperseur.
- 5 - Souvent la pupille d'entrée du collimateur doit être à l'infini (collimateur télécentrique).

On distingue deux familles de collimateurs : les collimateurs réfractifs travaillant sur l'axe et les collimateurs réflectifs travaillant hors
10 d'axe.

Collimateurs réfractifs :

Les objectifs réfractifs utilisés dans les collimateurs ont l'avantage de travailler sur l'axe optique : le smile y est donc quasi-nul. Cependant, ces objectifs ont plusieurs inconvénients :

- 15 - Les lentilles apportent du chromatisme qui rend ce type de solution inutilisable sur de larges bandes spectrales. C'est l'inconvénient majeur.
- Il est parfois difficile de placer la pupille de sortie pour qu'elle soit suffisamment accessible afin d'y placer le disperseur.
- 20 - Un collimateur réfractif est généralement plus lourd qu'une solution réflective.

Collimateurs réflectifs hors d'axe :

Ils sont utilisés lorsque que la bande spectrale est trop large pour
25 utiliser un objectif dioptrique.

Généralement, la fonction de collimation est assurée par des systèmes TMA (acronyme de l'expression anglo-saxonne « Three Mirrors Anastigmat ») qui offrent des champs linéaires importants. Ainsi, le champ linéaire peut dépasser 15 degrés. Un système TMA comprend typiquement
30 trois miroirs asphériques. Le premier miroir M1 est concave, le second miroir M2 est convexe et le troisième miroir M3 est concave. Classiquement, les miroirs d'un système TMA ne sont pas inclinés ou « tiltés ». Si les miroirs sont tous sur un axe optique commun, il existe une occultation centrale importante. Pour supprimer l'occultation centrale, on réalise un « off-axis »
35 de champ et/ou « un off-axis » de pupille.

Or comme le montre les figures 3, le fait de travailler hors d'axe génère naturellement du smile dont un exemple est montré figure 3b en trait plein. Avec un TMA classique travaillant avec des miroirs alignés et un off-axis de champ et de pupille TMA, de focale 230mm ouvert à f/4 permettant d'avoir un champ linéaire total de 10°, dont un exemple est montré figure 3a, on a obtenu un smile d'environ 200 µm pour une WFE RMS (acronyme de l'expression anglo-saxonne « Wave Front Error Root Mean Square ») de $\lambda/10$. Ce smile peut être réduit par une optimisation soignée du système TMA, mais du fait des autres fortes contraintes sur cette optique (qualité image, pupille accessible, faible encombrement, parfois télécentricité), il est souvent impossible de totalement l'annuler. En effet, la surface d'un miroir asphérique est définie par une conique et des termes asphériques de révolution. Or ces surfaces ne sont pas parfaitement adaptées pour corriger les aberrations de systèmes optiques qui n'ont plus d'axe de symétrie comme les systèmes TMA utilisés hors d'axe.

Une solution permettant de fortement réduire le « smile » consiste à autoriser l'inclinaison et l'excentrement des miroirs. Cependant, là aussi il est difficile d'assurer une qualité image suffisante avec un « smile » faible.

Un système TMA peut aussi être utilisé dans un télescope.

En conséquence, il demeure à ce jour un besoin pour un système TMA utilisable notamment dans un télescope et/ou un collimateur de spectromètre, donnant simultanément satisfaction à l'ensemble des exigences précitées, en termes de réduction du « smile » tout en conservant une bonne qualité d'image c'est-à-dire en limitant les aberrations.

Le système TMA selon l'invention repose sur un système TMA à off-axis de champ et/ou off-axis de pupille avec une inclinaison de miroir(s) utilisée comme paramètre de réduction du « smile ». L'inclinaison du (ou des) miroir(s) apporte astigmatisme et coma qui sont corrigés par l'utilisation de miroirs « freeform ».

Plus précisément l'invention a pour objet un système anastigmat à trois miroirs comportant au moins un premier miroir concave, un second miroir convexe et un troisième miroir concave.

Il est principalement caractérisé en ce que :

- les trois miroirs sont agencés de façon que le premier miroir forme d'un objet à l'infini, une image intermédiaire située entre le premier miroir et le deuxième miroir, le second miroir et le troisième miroir formant de
5 cette image intermédiaire une image finale dans le plan focal du système,
- la normale au centre de la surface du deuxième miroir convexe est inclinée de quelques degrés sur l'axe optique du système défini par le rayon passant par le centre de la pupille d'entrée et perpendiculaire à cette pupille, et
10
- la surface du deuxième miroir convexe et la surface du premier miroir concave et/ou du troisième miroir concave sont des surfaces φ -polynomiales.

Un tel système TMA permet de réduire la distorsion verticale (« smile »), mais il a également un impact (plus léger) sur la distorsion horizontale.
15

La normale N_{M1} au centre de la surface du premier miroir concave peut être inclinée de quelques degrés sur l'axe optique du système ; de même la normale N_{M3} au centre de la surface du troisième miroir concave peut aussi être inclinée de quelques degrés sur l'axe optique du système.
20

Le système est typiquement à champ linéaire.

Ce système est typiquement inclus dans un collimateur de spectromètre ou dans un télescope.
25

L'invention a aussi pour objet un procédé de mise en place d'un système anastigmat à trois miroirs asphériques tel que décrit, le procédé étant mis en œuvre par un logiciel de calcul de combinaisons optiques. Il comporte au moins les étapes suivantes :

- 30 - Dans une première étape, détermination des paramètres paraxiaux du système ;
- Dans une seconde étape, mise en place de la combinaison optique du système dans une configuration avec off-axis de champ et/ou de pupille, et détermination de la distorsion ainsi générée,
- 35 - Dans une troisième étape, compensation de la distorsion en inclinant la normale au centre de la surface du deuxième miroir convexe, de

quelques degrés sur l'axe optique du système défini par le rayon passant par le centre de la pupille d'entrée et perpendiculaire à cette pupille,

- 5 - Dans une quatrième étape, compensation d'un astigmatisme et d'une coma générés par l'inclinaison et calculés dans le champ par la théorie des aberrations nodales, par ajout à la définition des surfaces du deuxième miroir et du premier et/ou du troisième miroir de la combinaison optique, des coefficients de φ -polynômes correspondant à l'astigmatisme et à la coma calculés, lesdites surfaces étant ainsi
10 des surfaces freeform φ -polynomiales.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit, faite à titre d'exemple non
15 limitatif et en référence aux dessins annexés dans lesquels :

la figure 1 déjà décrite représente schématiquement un spectromètre équipé d'un télescope et d'un collimateur, selon l'état de la technique,

20 la figure 2 déjà décrite représente schématiquement un exemple de « smile »,

les figures 3 déjà décrites représentent schématiquement un exemple vu en coupe de système TMA classique à miroirs alignés et travaillant avec un off-axis de champ et de pupille (fig 3a), et les distorsions correspondantes (fig 3b),

25 la figure 4a représente schématiquement un exemple vu en coupe de système TMA à off-axis de pupille, et la figure 4b un exemple vu en coupe de système TMA à off-axis de champ, selon l'invention,

les figures 5 représentent schématiquement un exemple vu en coupe de système TMA classique à miroirs alignés et travaillant avec un off-
30 axis de pupille (fig 5a), et le « smile » correspondant c'est-à-dire le champ de vue avec distorsion (« smile ») par rapport au champ de vue paraxial sans distorsion (fig 5b),

les figures 6 représentent schématiquement les « smiles » (c'est-à-dire le champ de vue avec distorsion (« smile ») par rapport au champ de

vue paraxial sans distorsion) induits par une inclinaison de miroir selon que l'inclinaison α est positive (6b) ou négative (fig 6a).

D'une figure à l'autre, les mêmes éléments sont repérés par les mêmes références.

5

La figure 4 montre un exemple de système TMA selon l'invention à off-axis de pupille.

Un système TMA selon l'invention comporte au moins un premier
10 miroir (M1) concave, un deuxième miroir (M2) convexe et un troisième miroir (M3) concave. Les miroirs sont agencés de façon que le premier miroir forme d'un objet à l'infini, une image intermédiaire située dans un plan de focalisation PFi entre le premier miroir et le deuxième miroir, le second miroir et le troisième miroir formant de cette image intermédiaire une image finale
15 dans le plan focal PF du système. Ils ne sont pas alignés ; ils peuvent être centrés comme montré sur l'exemple de la figure mais pas nécessairement.

La figure 5b montre le « smile » créé par un TMA à off-axis de pupille représenté figure 5a. Un TMA à off-axis de champ crée la même figure de « smile ». Le « smile » généré par chacun des off-axis
20 s'additionne : il n'est pas possible d'annuler les effets de l'un par l'autre.

Les figures 6 montrent l'impact de l'inclinaison α d'un miroir suivant le sens d'inclinaison appliqué : les effets sont opposés, et l'inclinaison dans le sens négatif a un effet opposé à ceux des off-axis de champ et de pupille.

25 Selon l'invention, on détermine donc expérimentalement une combinaison optique d'off-axis de champ et/ou de pupille et d'inclinaison des miroirs permettant d'annuler le « smile », tout en laissant passer la lumière. La normale NM2 du second miroir M2 est inclinée d'un angle α de quelques degrés sur l'axe optique X du système, défini par le rayon passant par le centre de la pupille d'entrée et perpendiculaire à cette pupille. La normale
30 NM1 du premier miroir M1 et/ou la normale NM3 du troisième miroir M3 peuvent également être inclinées de quelques degrés sur l'axe optique X, comme dans l'exemple de la figure 4.

Cependant, cette inclinaison (ou ces inclinaisons) introduit des
35 aberrations d'astigmatisme et de coma, et la qualité image par exemple

évaluée en mesurant la WFE MSR, chute de manière dramatique. En effet, avec un système TMA à miroirs excentrés et inclinés mais simplement asphériques, travaillant avec un off-axis de champ et de pupille, de focale 230mm ouvert à f/4 permettant d'avoir un champ linéaire de 10°, on a obtenu
 5 un smile d'environ 2 µm mais pour une WFE RMS de λ/6. Pour corriger les aberrations apportées, on utilise des miroirs à surface « freeform » de type phi-polynômes.

Depuis quelques années, un nouveau type de surface optique a été développée. Ces surfaces sont connues sous l'appellation « freeform »
 10 ou de forme libre. De façon générale, une optique « freeform » est une surface qui n'a pas de symétrie de révolution.

Il existe différentes définitions des surfaces « freeform ». Généralement, chaque définition répond à un besoin particulier et est adaptée à un mode de calcul et d'optimisation spécifique et bien entendu à
 15 un mode de réalisation propre. Quelle que soit la formulation mathématique utilisée pour définir une surface « freeform », on peut passer d'une formulation à l'autre par une conversion mathématique. Dit autrement une même surface « freeform » peut être définie par plusieurs formulations mathématiques.

20

A titres d'exemples, les définitions mathématiques d'une surface « freeform » peuvent être les suivantes :

– Surface « freeform » définie par des polynômes XY. En clair, cette surface étant définie dans un espace (x, y, z), si z(x, y) représente la
 25 coordonnée z d'un point de cette surface, on a la relation :

$$z(x, y) = \frac{c(x^2 + y^2)}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2(x^2 + y^2)}} + \sum A_i x^j y^k$$

C étant la courbure de la surface, k étant la constante de conicité, A_i étant des constantes, i, j et k étant des indices variant respectivement entre 0 et trois nombres entiers.

30

Cette surface correspond à une extension de la définition classique des surfaces asphériques en la généralisant à une surface sans symétrie de révolution ;

– Surface « freeform » définie par des phi-polynômes (ou φ-polynômes), par exemple les polynômes de Zernike ou de Q-Forbes. Les

surfaces de Zernike sont les plus couramment utilisées. Une surface de Zernike est définie en coordonnées polaires dans un espace (ρ, φ, z) , et si $z(\rho, \varphi)$ représente la coordonnée z d'un point de cette surface, on a la relation :

$$z(\rho, \varphi) = \frac{c(\rho^2)}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2\rho^2}} + \sum C_j Z_j$$

Z_j étant un polynôme de Zernike d'ordre j et C_j étant la constante associée à ce polynôme, j étant un indice variant respectivement entre 0 et un nombre entier.

La publication de G.W. Forbes intitulée « Characterizing the shape of freeform optics » 30.01.2012/Vol.20, N° 3/Optics Express 2483 décrit les surfaces définies par des phi-polynômes de Q-Forbes.

- Surface Freeform définie par des équations locales de sous-surfaces « freeform » de définition différente.

- Surface Freeform définie par des descriptions hybrides comme, par exemple, des surfaces mélangeant des surfaces phi-polynomiales et des surfaces dites « NURBS », acronyme signifiant « Non-Uniform Rational Basis Splines » ou surfaces « B-Splines Rationnelles Non Uniformes ».

La méthode utilisée repose sur la théorie des aberrations nodales, connue sous la terminologie « Nodal Aberration Theory » généralisée aux surfaces freeform. Cette méthode est décrite dans « Theory of aberration fields for general optical systems with freeform surfaces » de K. Fuerschbach. Elle est mise en place au moyen d'un logiciel de calcul des combinaisons optiques. En se basant sur cette théorie des aberrations nodales, il est possible de corriger les aberrations créées par l'inclinaison du ou des miroirs, en introduisant les aberrations inverses dans la définition de la surface d'au moins deux miroirs (M2 et M1 et/ou M3) qui peuvent être les mêmes que les miroirs inclinés mais pas nécessairement. On ajoute à la définition de chaque surface asphérique concernée (M2 et M1 et/ou M3), directement les valeurs des coefficients C_j des polynômes de Zernike :

$$z(\rho, \varphi) = \frac{c(\rho^2)}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2\rho^2}} + \sum C_j Z_j$$

Z_j étant un polynôme de Zernike d'ordre j et C_j étant la constante associée à ce polynôme, j étant un indice variant respectivement entre 0 et un nombre entier.

5 Le procédé de mise en place d'un système anastigmat tel que décrit est mis en œuvre par un logiciel de calcul de combinaisons optiques, et comporte au moins les étapes suivantes.

Dans une première étape, on détermine les paramètres paraxiaux du système TMA, c'est-à-dire sa focale, son ouverture et son champ.

10 Dans une seconde étape, la combinaison optique du système TMA est mise en place dans une configuration off-axis de champ et/ou de pupille avec des miroirs simplement asphériques.

Dans une troisième étape, on compense le « smile » en inclinant la normale NM2 au centre de la surface du deuxième miroir convexe, de quelques degrés sur l'axe optique, et éventuellement en inclinant aussi la normale (NM1, NM3) au centre de la surface du premier et/ou troisième miroir concave, de quelques degrés sur l'axe optique.

15 Dans une quatrième étape on détermine par la théorie des aberrations nodales, les aberrations d'astigmatisme et de coma dans le champ du TMA, générées par l'inclinaison du ou des miroir(s).

20 Dans une cinquième étape, on modifie la forme du ou des miroirs « freeform » pour corriger les aberrations déterminées. On ajoute à la définition des surfaces du deuxième miroir et du premier et/ou du troisième miroir de la combinaison optique, des coefficients des ϕ -polynômes (= les polynômes de Zernike dans notre exemple) correspondant aux aberrations déterminées, de façon à les diminuer et/ou les supprimer dans tout le champ du système TMA. L'influence des polynômes de Zernike sur les miroirs est différente suivant la position du miroir par rapport à la pupille.

30 Le procédé décrit ici peut être utilisé sur tout système TMA afin de réduire la distorsion verticale, mais il a également un impact (plus léger) sur la distorsion horizontale.

Il peut notamment être utilisé dans un télescope à champ linéaire ainsi que dans un collimateur. On obtient alors un collimateur réfléchif sans distorsion, ce qui présente de nombreux avantages :

35

- L'annulation de la distorsion se fait sans utiliser une optique dioptrique centrée :
 - Pas de problème de chromatisme
 - Poids réduit
- 5 - L'annulation du smile du collimateur permet de ne pas avoir à corriger cette distorsion
 - Ni par le disperseur+imageur
 - Ni par un traitement d'image au niveau détecteur.

10 A titre d'exemple, un système TMA de focale 230mm ouvert à $f/4$ permet d'avoir un champ linéaire de 10° . On obtient alors un smile inférieur à $0.4\mu\text{m}$ pour une WFE RMS inférieure à $\lambda/30$.

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

REVENDEICATIONS

- 5 1. Système anastigmat à trois miroirs comportant au moins un premier miroir (M1) concave, un second miroir (M2) convexe et un troisième miroir (M3) concave, caractérisé en ce que les trois miroirs sont agencés de façon que le premier miroir forme d'un objet à l'infini, une image intermédiaire située entre le premier miroir et le deuxième miroir, le second miroir et le troisième miroir formant de cette image intermédiaire une image finale dans le plan focal du système, en ce que la normale (N_{M2}) au centre de la surface du deuxième miroir convexe est inclinée de quelques degrés sur l'axe optique (X) du système défini par le rayon passant par le centre de la pupille d'entrée (PE) et perpendiculaire à cette pupille, et en ce que la surface du deuxième miroir convexe et la surface du premier miroir concave et/ou du troisième miroir concave sont des surfaces φ -polynomiales.
- 10
- 15
- 20 2. Système anastigmat selon la revendication précédente, caractérisé en ce que la normale (N_{M1}) au centre de la surface du premier miroir concave est inclinée de quelques degrés sur l'axe optique du système et/ou la normale (N_{M3}) au centre de la surface du troisième miroir concave est inclinée de quelques degrés sur l'axe optique du système.
- 25
3. Système anastigmat selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le système est à champ linéaire.
- 30 4. Système anastigmat selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le système est un collimateur de spectromètre.
5. Système anastigmat selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le système est un télescope.
- 35 6. Procédé de mise en place d'un système anastigmat à trois miroirs asphériques selon l'une des revendications précédentes, le procédé étant mis en œuvre par un logiciel de calcul de combinaisons

optiques, caractérisé en ce que le procédé comporte au moins les étapes suivantes :

- Dans une première étape, détermination des paramètres paraxiaux du système ;
- 5 - Dans une seconde étape, mise en place de la combinaison optique du système dans une configuration avec off-axis de champ et/ou de pupille, et détermination de la distorsion ainsi générée,
- Dans une troisième étape, compensation de la distorsion en inclinant la normale (N_{M2}) au centre de la surface du deuxième miroir convexe, de
10 quelques degrés sur l'axe optique (X) du système défini par le rayon passant par le centre de la pupille d'entrée et perpendiculaire à cette pupille,
- Dans une quatrième étape, compensation d'un astigmatisme et d'une
15 coma générés par l'inclinaison et calculés dans le champ par la théorie des aberrations nodales, par ajout à la définition des surfaces du deuxième miroir et du premier et/ou du troisième miroir de la combinaison optique, des coefficients de φ -polynômes correspondant à l'astigmatisme et à la coma calculés, lesdites surfaces étant ainsi
20 des surfaces freeform φ -polynomiales.

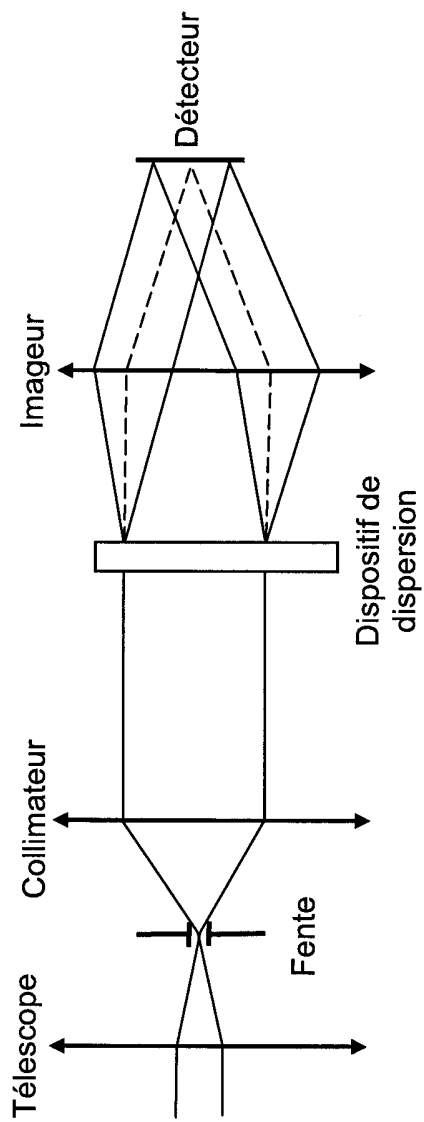


FIG.1



FIG.2

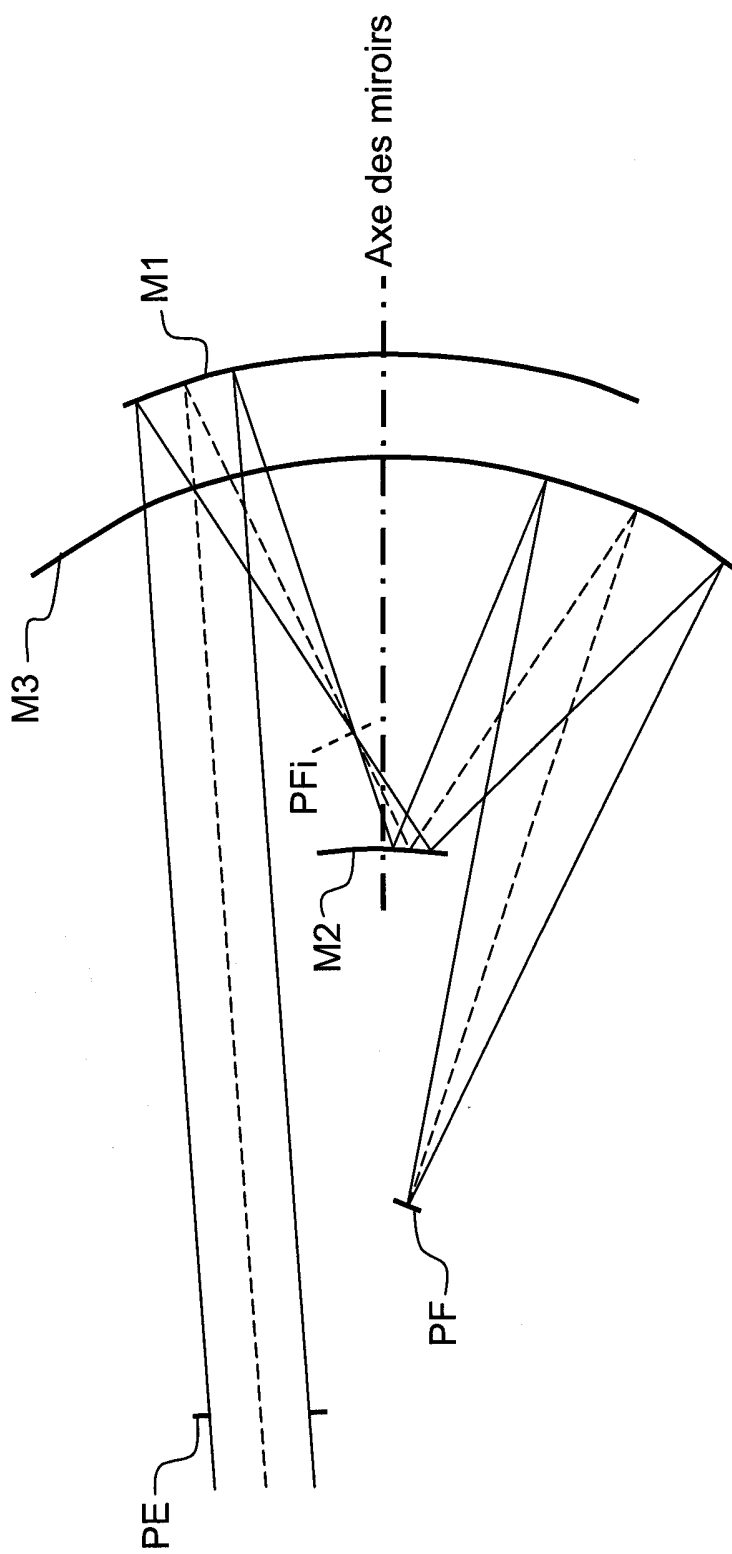


FIG.3a

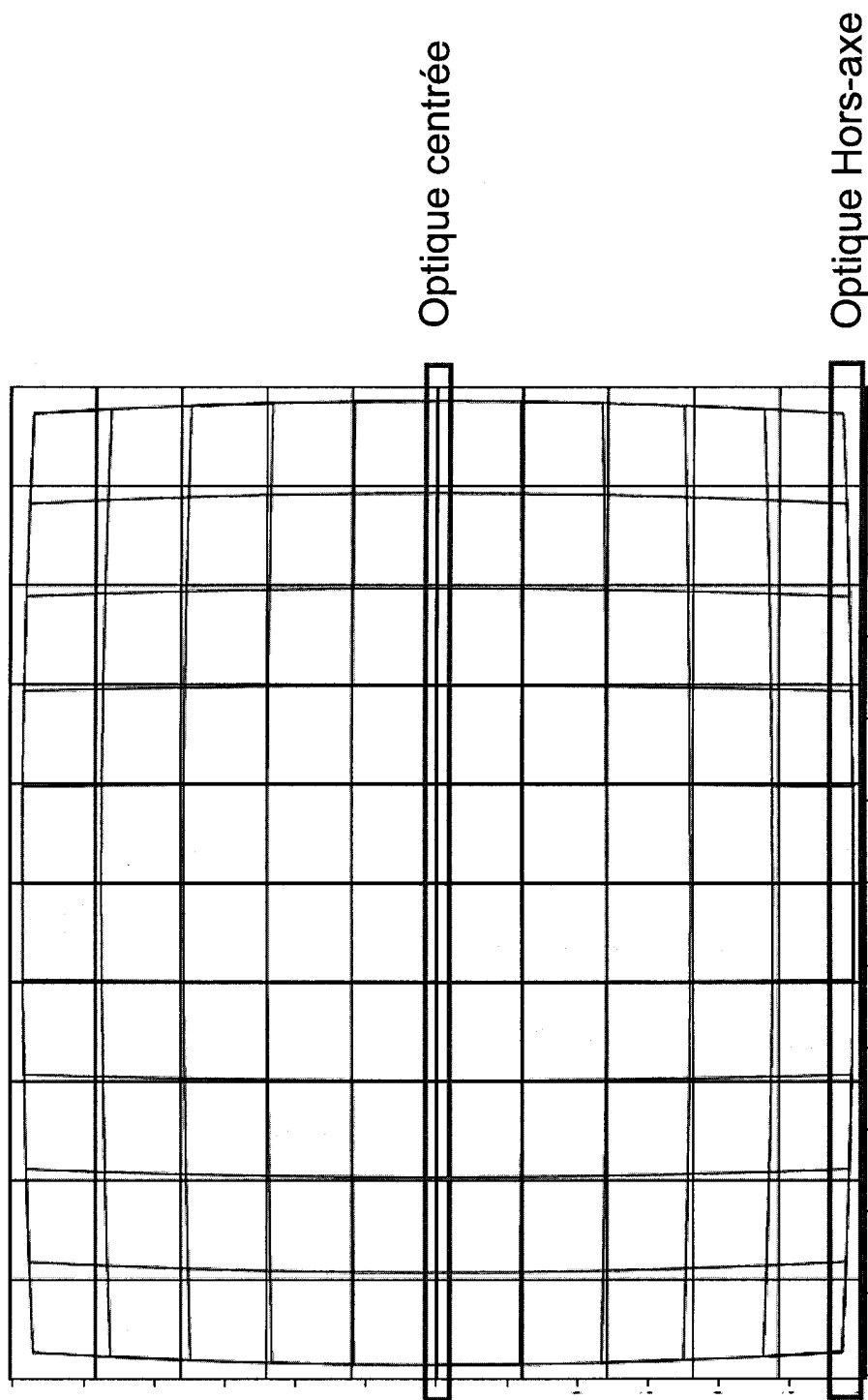


FIG.3b

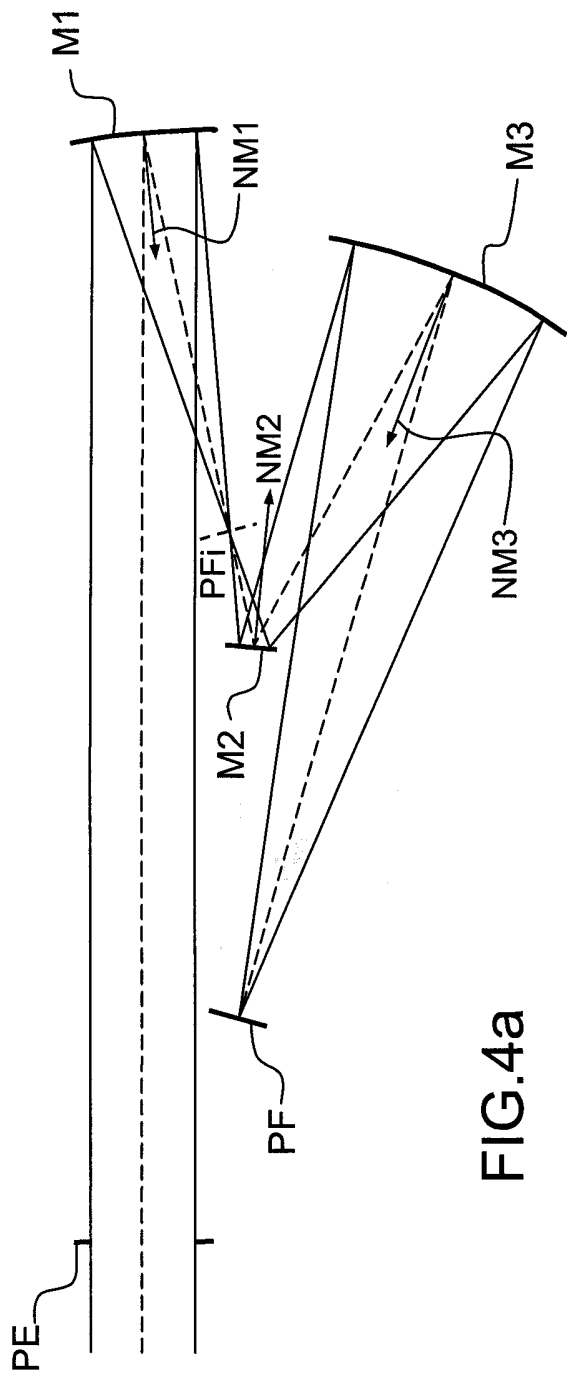


FIG.4a

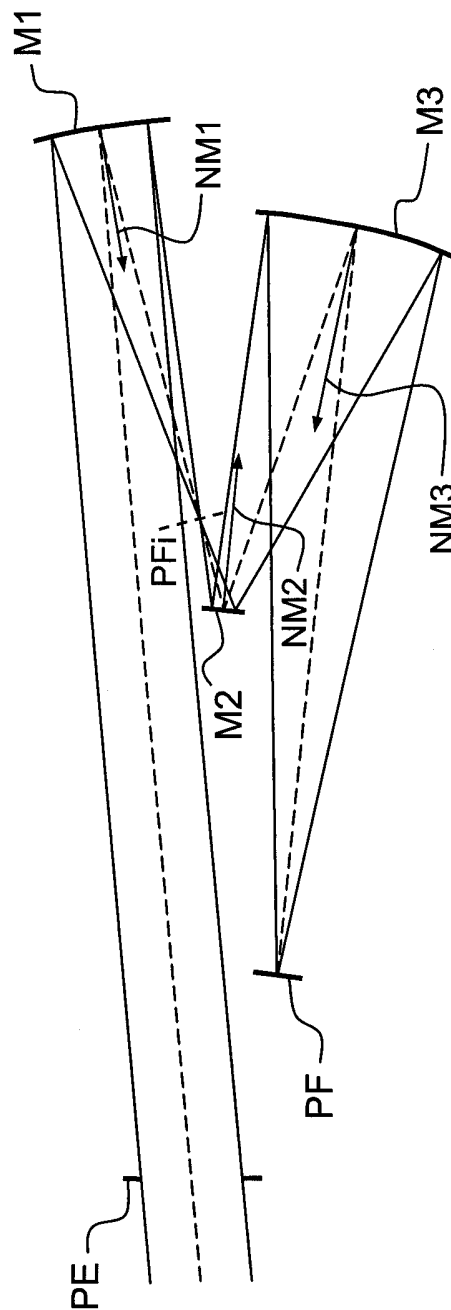


FIG.4b

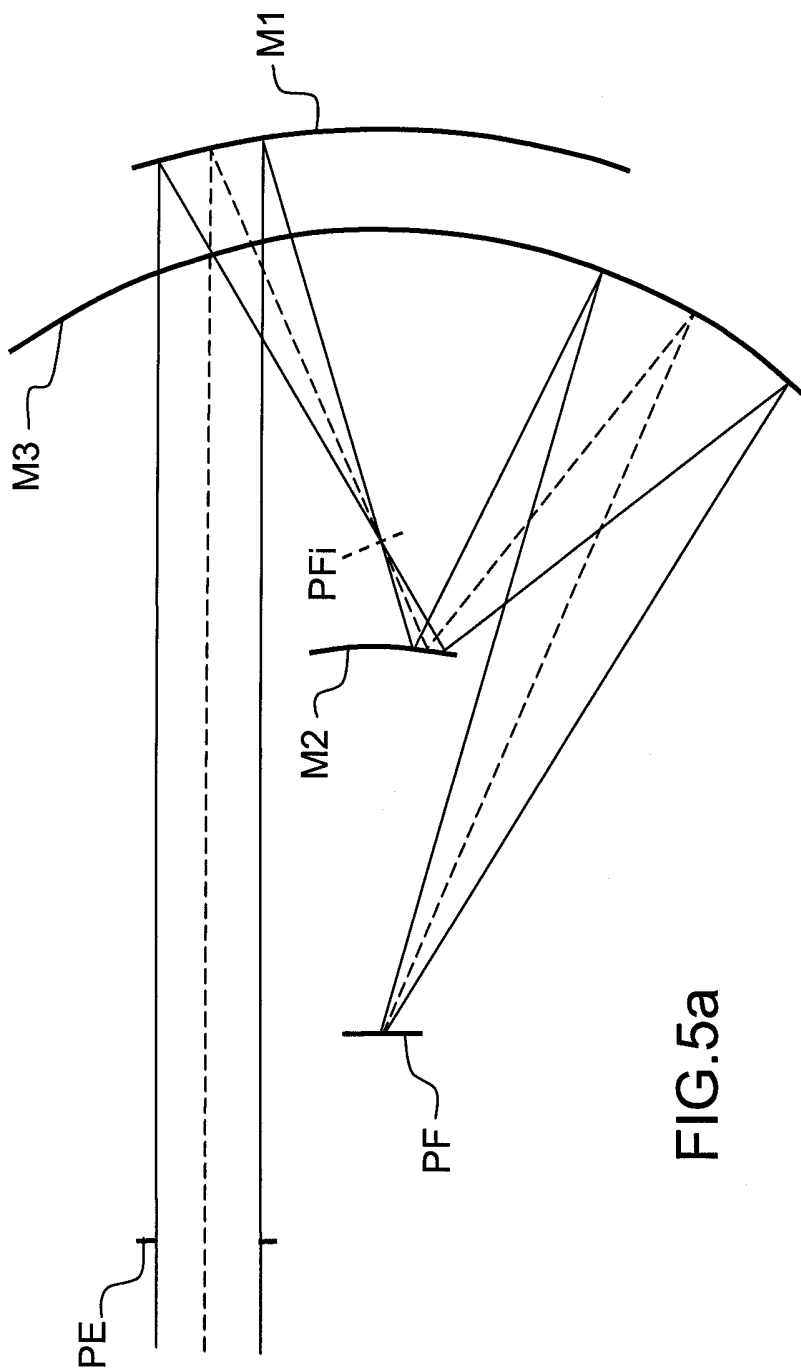


FIG.5a



FIG.5b

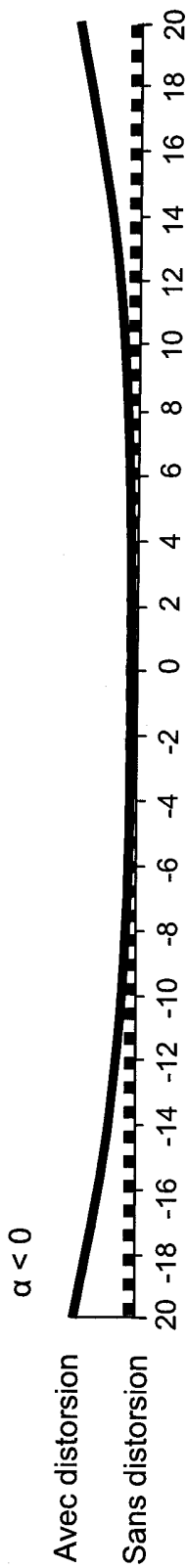


FIG.6a

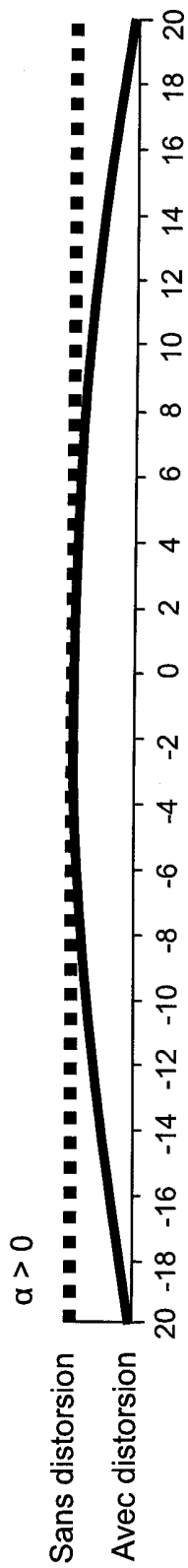


FIG.6b


**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

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

 N° d'enregistrement
national

 FA 817727
FR 1502049

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, des parties pertinentes		
X	US 2012/038812 A1 (NEIL IAIN A [CH]) 16 février 2012 (2012-02-16)	1-5	G02B17/06 G01J3/02
Y	* alinéas [0001], [0006] - [0008], [0048] - [0066]; figures 1a,2a,3a,4a,5a *	6	
A	US 2010/053609 A1 (CHRISP MICHAEL P [US]) 4 mars 2010 (2010-03-04)	1-6	
Y	* alinéas [0027] - [0033]; figures 1,2,3 *	6	
	ROLLAND JANNICK P ET AL: "Pamplemousse: The optical design, fabrication, and assembly of a three-mirror freeform imaging telescope", OPTOMECHATRONIC MICRO/NANO DEVICES AND COMPONENTS III : 8 - 10 OCTOBER 2007, LAUSANNE, SWITZERLAND; [PROCEEDINGS OF SPIE , ISSN 0277-786X], SPIE, BELLINGHAM, WASH, vol. 9293, 17 décembre 2014 (2014-12-17), pages 92930L-92930L, XP060044712, DOI: 10.1117/12.2074479 ISBN: 978-1-62841-730-2 * alinéa [02.1]; figures 1,2 *		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G02B
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		1 juin 2016	Casse, Martin
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		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	
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			

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1502049 FA 817727**

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 01-06-2016

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 2012038812 A1	16-02-2012	DE 102011108923 B3 JP 5904632 B2 JP 2012042949 A US 2012038812 A1	06-12-2012 13-04-2016 01-03-2012 16-02-2012
US 2010053609 A1	04-03-2010	AUCUN	