

International Conference on Space Optics—ICSO 1997

Toulouse, France

2–4 December 1997

Edited by George Otrio



Maquette fonctionnelle optique développée dans le cadre du développement exploratoire nouveau télescope

*Vincent Albouys, Jacques Berthon, Thierry Bret-Dibat,
Pierre Etcheto, et al.*



icso proceedings



International Conference on Space Optics — ICSO 1997, edited by Georges Otrio, Proc. of SPIE Vol. 10570, 105700C · © 1997 ESA and CNES · CCC code: 0277-786X/18/\$18 · doi: 10.1117/12.2326443

**MAQUETTE FONCTIONNELLE OPTIQUE
DEVELOPPEE
DANS LE CADRE DU DEVELOPPEMENT EXPLORATOIRE NOUVEAU TELESCOPE**

**Vincent ALBOUYS⁽¹⁾, Jacques BERTHON⁽¹⁾, Thierry BRET-DIBAT⁽¹⁾, Pierre ETCHETO⁽¹⁾,
David LAUBIER⁽¹⁾, Karine MERCIER⁽¹⁾, Didier NADALIN⁽²⁾, Lionel PERRET⁽¹⁾**

⁽¹⁾ CNES, Centre Spatial de Toulouse
18, avenue Edouard Belin, 31401 TOULOUSE CEDEX 4

⁽²⁾ SERLEG,
11 et 13, impasse Didier Daurat, 31400 TOULOUSE

RESUME - Ce papier décrit les principaux choix architecturaux qui ont été effectués pour définir l'optique, le Plan Focal et la structure de la Maquette Fonctionnelle Optique réalisée au CNES dans le cadre du Développement Exploratoire Nouveau Telescope. On présente aussi la logique d'intégration envisagée et les performances optiques qui devront être atteintes avec la MFO

1 - INTRODUCTION

Des études sont menées au CNES depuis fin 1995 afin d'identifier les concepts instrumentaux et les nouvelles spécifications de qualité image qui permettront de réduire de façon significative la taille des instruments haute résolution des satellites SPOT. L'objectif de ces études est de démontrer la faisabilité de la poursuite de la filière SPOT avec une charge utile compatible d'un mini-satellite. Ces activités ont montré l'intérêt de nouveaux concepts instrumentaux qui modifient profondément les architectures du télescope et du sous-ensemble de détection des anciens instruments HRV⁽³⁾. Ces nouvelles architectures instrumentales font l'objet de validations sous forme de maquettes fonctionnelles qui prennent néanmoins en compte certaines contraintes du spatial en mettant notamment l'accent sur les aspects d'intégration. Le CNES en cherchant pour ses maquettes la plus grande représentativité souhaite valider une simplification et une réduction des durées de développement des instruments de la future filière SPOT.

2 - CONSIDERATIONS INSTRUMENTALES

La classe de l'instrument étudié en terme de performances radiométriques est celle des instruments HRG du satellite SPOT5. Un des premiers efforts a été de diminuer l'ouverture du télescope en préservant des performances de qualité image satisfaisantes vis-à-vis de la mission envisagée. La logique a été de garder une FTM (Fonction de Transfert de Modulation) instrumentale similaire à celle des HRG⁽⁴⁾ mais avec une radiométrie dégradée. Cette logique a permis de réduire notablement le diamètre du télescope en travaillant avec des systèmes optiques sans occultation centrale. On compare ainsi (Fig. 1) la FTM d'un instrument sans occultation de 180 mm de pupille avec celle du HRG dont la pupille est de 33,4 mm. Cette figure montre une FTM optique similaire pour les deux télescopes dans le domaine des fréquences spatiales inférieures à la fréquence de coupure du détecteur.

(3) HRV: Haute Résolution Visible - (4) HRG: Haute Résolution Géométrique

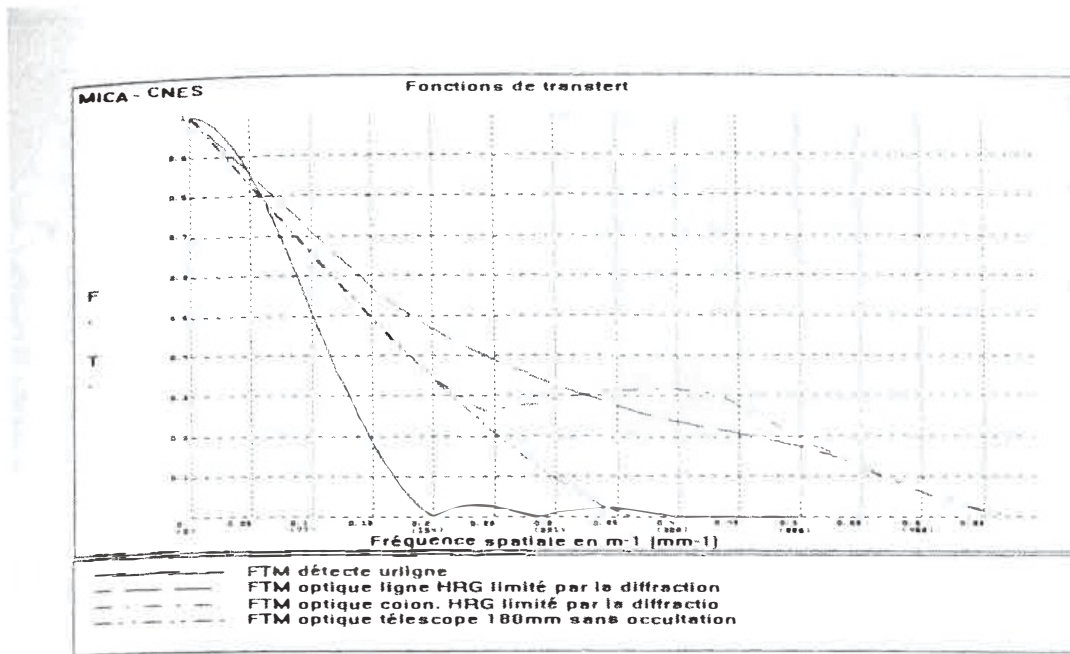


Fig. 1 : comparaison FTM telescope HRG (\varnothing 334 mm) et telescope de pupille 180 mm sans occultation

De manière à optimiser l'encombrement et la masse de la charge utile pour une mission du type SPOT demandant une capacité de couverture importante, on a cherché une solution optique permettant de doubler le champ du telescope des instruments HRG (Fig 2) L'instrument dont le telescope est developpe dans le cadre de la MFO peut donc travailler avec une retine lineaire de 24000 pixels.

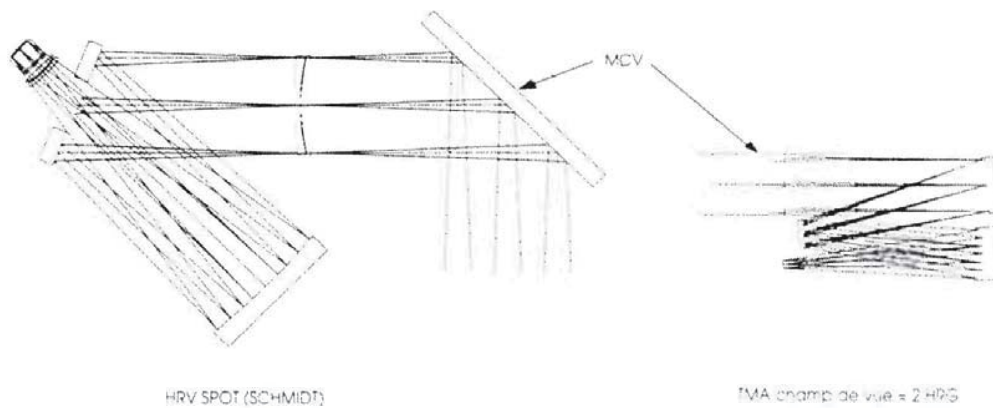


Fig. 2 : comparaison telescope Three-Mirror Anastigmat (TMA) avec l'optique SPOT actuelle

3 - CONFIGURATION GENERALE DE LA MFO

La Maquette Fonctionnelle Optique (Fig 3) est constituée

- D'un Sous-Ensemble Optique (SEO) dimensionné au standard vol et comprenant les trois miroirs montés sur des barillets au moyen de dispositifs de fixation. Cette optique est celle d'un TMA sans image intermédiaire avec la pupille disposée sur le premier miroir. Ce choix permet de disposer devant le télescope d'un miroir de changement de visée de dimension pas trop importante
- D'un sous-ensemble structure comprenant une structure primaire dimensionnée au standard vol et une structure secondaire pour le bafflage interne du télescope. Les choix en termes de matériaux correspondent à des solutions classiques (miroirs zéro-dur, barres carbone, plateaux aluminium... utilisées notamment dans le cadre des programmes SPOT et HELIOS). Le bafflage interne a pour fonction d'éliminer les images parasites.
- D'un Plan Focal comprenant une rétine panchromatique de 24000 pixels et une rétine multi-spectrale de 3×12000 pixels. Ce Plan Focal est équipé d'une électronique de laboratoire permettant de lire à basse cadence les différents boîtiers détecteurs.
- De dispositifs d'intégration et de réglage des miroirs équipés et du Plan Focal dans la structure porteuse. Ces différents dispositifs ont été conçus pour être compatibles d'un instrument spatial.

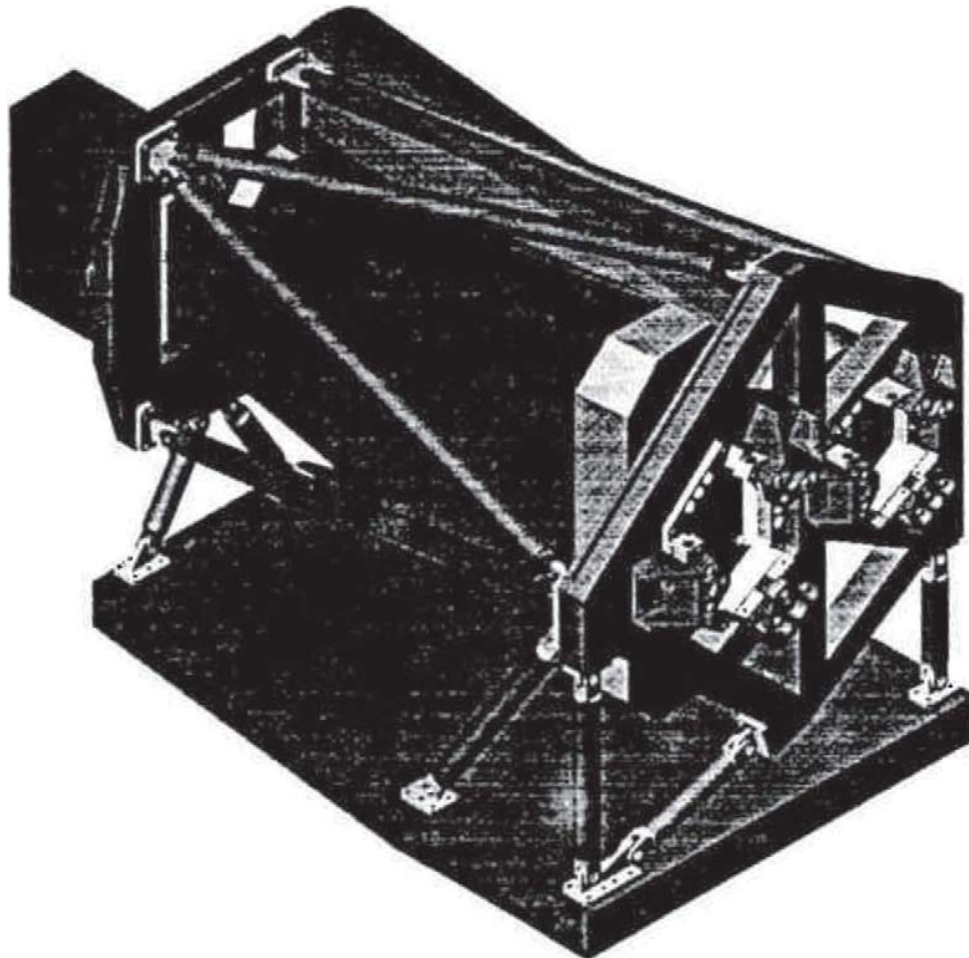


Fig. 3 vue générale de la Maquette Fonctionnelle Optique

4 - SOUS ENSEMBLE OPTIQUE DE LA MFO

Le CNES a confié à la Société REOSC la responsabilité de la définition et de la réalisation du sous-ensemble optique de la MFO. La définition des barillets est par contre prise en charge par le CNES

La combinaison optique (Fig 4) est du type TMA sans image intermédiaire, à champ et pupille excentrés. L'avantage de ces combinaisons réside en la possibilité de champs relativement larges obtenus avec un minimum de composants optiques, en l'absence d'occultation de la pupille d'où une meilleure FTM, en une moindre difficulté de bafflage de la lumière parasite, en une compacité moins tributaire de la focale et en l'utilisation de miroirs qui offrent une bande spectrale large sans générer de chromatisme

Les caractéristiques de la combinaison optique de la MFO sont les suivantes

- focale 1082 mm,
- pupille 180 mm,
- champ $\pm 4.2^\circ$ axe barrette et $\pm 0.7^\circ$ axe perpendiculaire

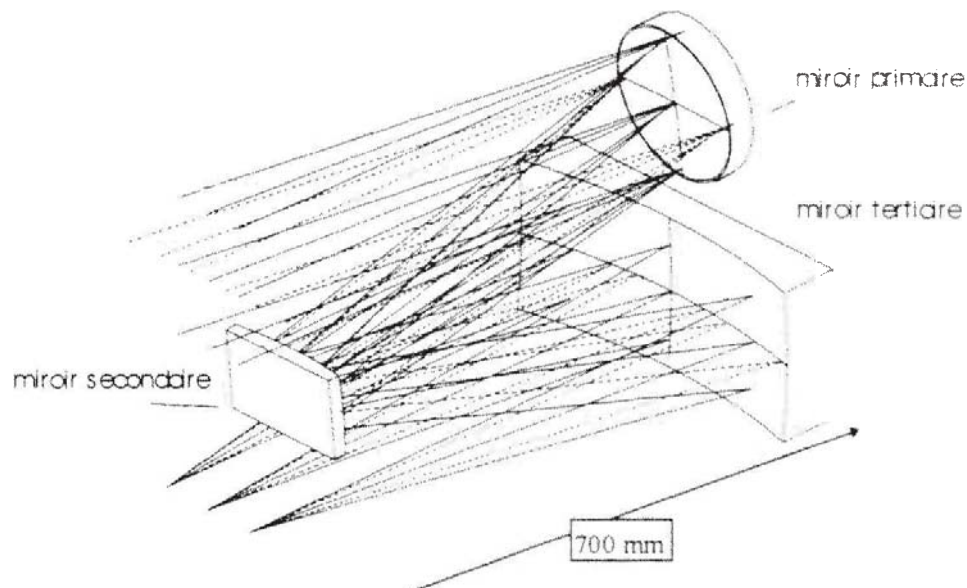


Fig. 4 combinaison optique du SEO

Pour leur supportage, les miroirs sont équipés de DFM (Dispositifs de Fixation de Miroirs) de type A-frame qui permettent la fixation des miroirs sur les barillets rapportés dans la structure du télescope. De manière à réduire l'encombrement du SEO et à bénéficier d'une procédure d'intégration originale mise au point par la Société REOSC, il a été choisi de coller les DFM sur la face arrière des miroirs

5 - SOUS ENSEMBLE STRUCTURE ET SYSTEMES DE REGLAGE DE LA MFO

La structure de la MFO doit répondre aux objectifs techniques tels que permettre la recette des performances du Sous-Ensemble Optique assemblé, valider des concepts d'architecture et matériaux adaptés à la stabilité recherchée en orbite ou encore représentative d'un télescope de vol en ce qui concerne l'AIT (Assemblage, Intégration, Tests)

A ce titre, elle doit

- avoir une architecture et un dimensionnement compatible d'un télescope de vol avec un objectif fort de compacité,
- reproduire l'accessibilité et l'intégrabilité du SEO,
- posséder un système d'intégration et de réglage du SEO de type "vol" notamment en terme de courses, de résolution et de blocage compatible des charges de lancement,
- posséder un bafflage optique interne

5.1. PRESENTATION DE LA STRUCTURE DE LA MFO

La Maquette Fonctionnelle Optique, illustrée sur la figure 5, se décompose en deux sous-ensembles principaux

- un sous-ensemble "structure télescope" assurant la tenue, la rigidité et le positionnement des différents éléments (optiques, détection),
- un sous-ensemble "structure support télescope" réalisant l'interface entre le télescope et les moyens de tests.

Au vu des objectifs techniques définis préalablement, la structure de la MFO a été dimensionnée afin de répondre aux spécifications suivantes

- assurer la stabilité de positionnement du sous-ensemble optique en conditions de laboratoire, en particulier vis à vis des fluctuations thermiques ($\Delta T = \pm 1^\circ\text{C}$ conditions salle blanche)
- filtrer les déformées d'interfaces engendrées par les biais d'intégration pour que le système de réglage des miroirs soit utilisé dans des conditions similaires à celles liées aux exigences d'un télescope vol

De plus des performances en terme de masse et de rigidité proches de celles d'une structure de vol ont été recherchées pour améliorer la représentativité de la MFO, sans pour autant avoir fait l'objet d'une optimisation

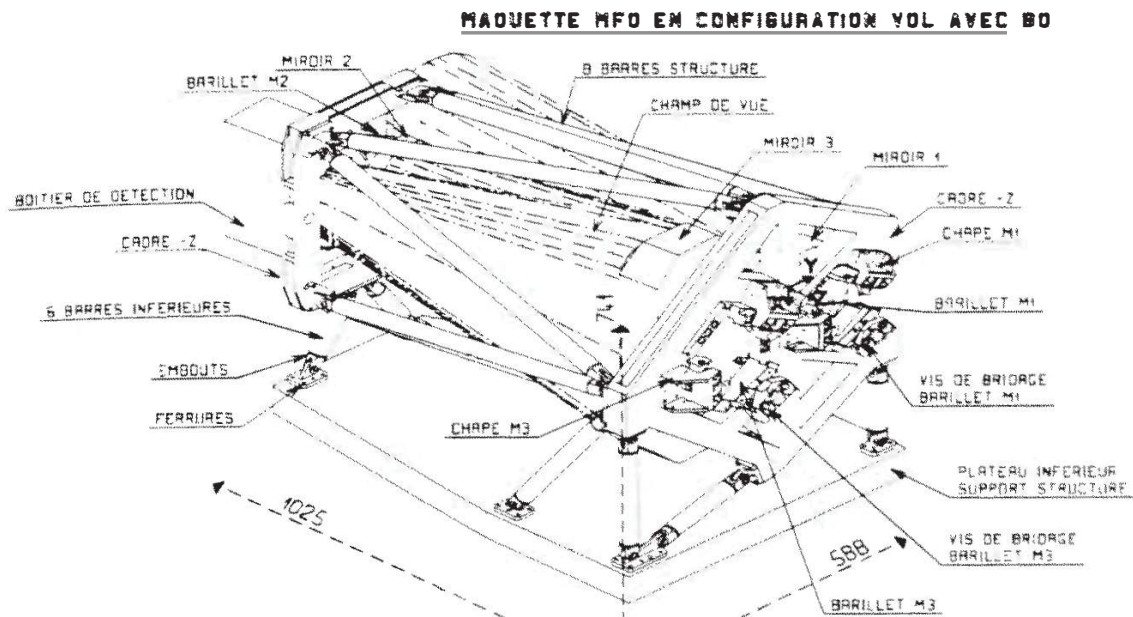


Fig. 5 maquette en configuration vol

5.1.1. "STRUCTURE TELESCOPE" DE LA MFO

La structure du telescope est composee des elements suivants

- deux cadres paralleles en aluminium supportant les optiques et le sous-ensemble detection

Ces cadres assurent la rigidite locale de la MFO et participent a la stabilite dimensionnelle de celle-ci. Les effets des gradients thermiques entre les faces sont minimises par la grande conductivite du materiau. De plus, les chargements homogenes en temperature deformant les cadres dans leur plan n'ont qu'une faible influence sur la degradation de la surface d'onde. La combinaison optique est tolerante vis-à-vis des decentrements.

- un treillis en carbone epoxy (M55J/914) compose de 8 barres optimisees pour un coefficient de dilatation thermique nul en prenant en compte les embouts titane des barres et des deformations hygroelastiques reduites

Elles assurent la liaison entre les deux cadres et participent a la rigidite globale de la MFO et a la stabilite dimensionnelle de celle-ci.

- un ensemble de 6 barres en carbone epoxy (M55J/914), realisent un interfaçage isostatique entre l'instrument et le plateau support telescope

- un ensemble de supportage des miroirs composé de chapes et de barillets permettant de réaliser l'interface entre les miroirs équipés de leurs DFM et les cadres de la structure télescope. Le système mécanique de reprise des optiques utilisé sur la MFO permet de réaliser le positionnement (l'intermédiaire de réglages) des barillets sur les chapes ainsi que le blocage de ces derniers sur la structure.
- un baffle optique en carbone epoxy (M55J/914) noir.

5.1.2. "STRUCTURE SUPPORT TELESCOPE" DE LA MFO

Un plateau en sandwich (nida aluminium / peaux carbonés (M55J/914)) assure le support du télescope. Il est dimensionné de manière à réduire les déformées d'interfaces fluctuantes dues à des perturbations thermoélastiques.

Ce plateau permet par ailleurs de réduire la modification des conditions aux limites du télescope lors de la manutention, et de suspendre le télescope sur un berceau pour réaliser des rotations autour de la pupille lors des mesures de la FTM. Ce système a été préféré au déplacement du collimateur qui est plus lourd et plus encombrant que la MFO

5.2. PRESENTATION DES SYSTEMES DE REGLAGE

La MFO est équipée d'un système de réglage permettant au cours de l'alignement du télescope de régler 16 degrés de liberté, soit TX, TY, TZ, θX et θY pour les miroirs M1 et M3 et TZ, θX et θY pour le M2 et le Plan Focal

Des bilans optiques permettant de déterminer les courses et les résolutions des "compensateurs", c'est à dire de réaliser un pré-dimensionnement du système de réglage, ont été effectués en prenant en compte les dépositionnements passifs des optiques et du boîtier de détection. Les besoins en terme de résolution de réglage sont donnés par les tolérances de positionnement des entités optiques acceptables après intégration de la combinaison optique.

Les systèmes mécaniques élémentaires permettant le réglage et le blocage micrométriques à 6 ddl des miroirs (brevet CNES) sont composés

- d'un barillet sur lequel est fixé le miroir équipé de ses DFM qui constitue la pièce mobile du système à régler par rapport à la structure de la MFO,
- de trois chapes, sur lesquelles sont fixés les systèmes de réglages, constituant les pièces immobiles réalisant la liaison entre le barillet et la structure,
- d'un système de réglage micrométrique,
- d'un système de blocage de la partie mobile sur la partie fixe en position réglée.

Le processus de réglage des miroirs équipés des DFM et de leur barillet se décompose en plusieurs étapes :

- Etape 1 : accostage d'un miroir dans le télescope et mise en configuration de réglage
- Etape 2 : réglage du télescope
- Etape 3 : blocage en configuration de vol

Le système mécanique permettant le réglage du Plan Focal est composé

- d'un système de réglage micrométrique, ensemble de butées micrométriques et de cales biaisées
- d'un système de blocage de la partie mobile sur la partie fixe en position réglée

6 - SOUS ENSEMBLE PLAN FOCAL DE LA MFO

L'objectif du Plan Focal de la MFO est double. Il doit permettre de valider la procédure d'intégration (réglage et blocage en position) sur la structure, ainsi que la stratégie vis-à-vis de la lumière parasite

Le Plan Focal de la MFO associera deux rétines de détecteurs

- une première ligne de 24000 pixels pour la voie panchromatique,
- un ensemble de trois lignes parallèles de 12000 pixels pour la voie multi-spectrale

Chacune de ces rétines sera constituée de deux boîtiers détecteurs aboués optiquement à l'aide de réflecteurs (prismes) à 45°, au sein d'une structure unique (Fig 6), dont la réalisation a été confiée à la Société SESO. Pour limiter la lumière parasite, certaines parties seront noircies et des diaphragmes seront disposés sur le trajet des faisceaux.

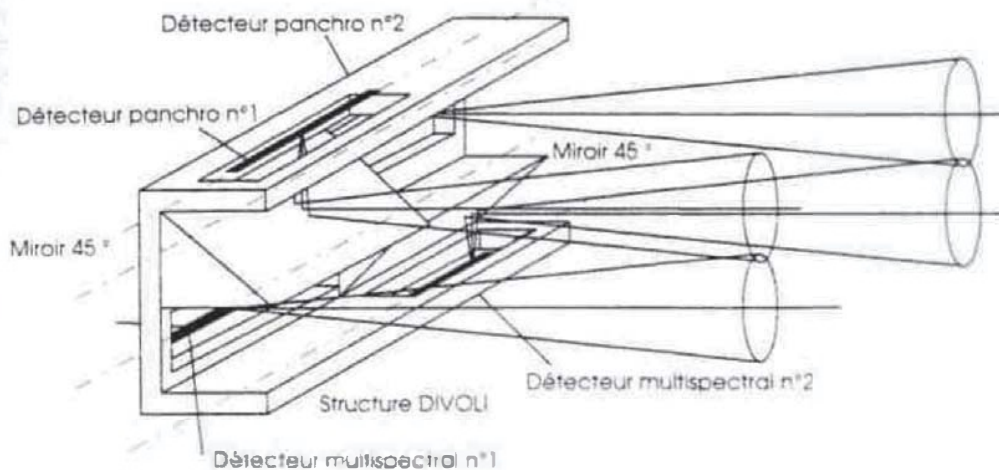


Fig. 6 principe du Plan Focal de la MFO

Cet ensemble sera intégré au Plan Focal de la MFO sur le plateau supportant également le miroir secondaire, ainsi que le sous-ensemble d'électronique de proximité, mais de manière thermiquement et mécaniquement indépendantes

L'électronique sera connectée à un PC pour l'acquisition et l'analyse des images

7 - LOGIQUE AIT ET PERFORMANCES OPTIQUES DE LA MFO

7.1. LOGIQUE AIT

Les opérations d'AIT devant être réalisées sur la MFO ont pour objet de valider la procédure d'intégration du télescope, de vérifier le bilan de réalisation, de mettre au point la procédure d'intégration du Plan Focal, de mettre en oeuvre une séquence de vérification des performances optiques

D'après les estimations de précision d'intégration de la structure et des miroirs sur leurs barillets et au vu des simulations de qualité optique associées, la mise en place initiale des miroirs sur la structure devrait conduire à une qualité optique meilleure que 2λ rms, compatible avec une mesure interférométrique dans le visible. L'alignement final sera effectué par mesure interférométrique couplée à une analyse par le logiciel CODE V pour détermination des réglages. Cette intégration devrait notamment permettre de conforter les estimations sur les courses et précisions nécessaires des dispositifs de réglage, ainsi que le choix des compensateurs (6 compensateurs ($\Delta\theta_x$ et $\Delta\theta_y$ pour le M1, Δx , Δy , $\Delta\theta_x$, $\Delta\theta_y$ pour le M3) devraient suffire

Le principe de la mesure interférométrique (Fig. 7) est de générer un point source au Plan Focal du télescope en créant une onde sphérique dont une partie est réfléchi vers l'interféromètre pour créer l'onde de référence. Le télescope est contrôlé en double passage grâce à un miroir plan d'autocollimation. L'onde retour interfère avec l'onde sphérique de référence pour mettre en évidence les aberrations du télescope. L'optimisation est effectuée par compromis entre différents points du champ.

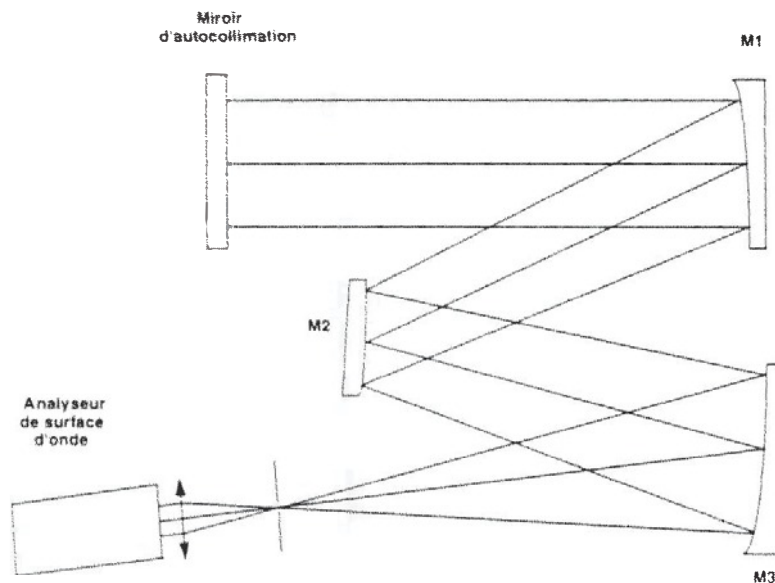


Fig. 7 schéma de principe de la mesure de surface d'onde du télescope

Le Plan Focal sera positionné dans le plan de meilleure mise au point par mesure de FTM grâce à une mire défilante située au foyer d'un collimateur. Son centrage sera assuré par positionnement mécanique

7.2. PERFORMANCES OPTIQUES

Les tolérances de positionnement des optiques ainsi que la précision des réglages doivent permettre de parvenir aux performances d'intégration données dans le tableau ci-dessus (Fig. 8). La WFE (erreur de surface d'onde) correspondante a une influence mineure sur la performance globale, qui inclut la réalisation des miroirs (performance prévisionnelle)

	WFE centre du champ	WFE bord du champ
AIT MFO	7,5	11
dont réglage Plan Focal	5	8,5
Réalisation des optiques	39,5	39
dont polissage	27	27
Total	40	40,5

Fig. 8 . performances WFE du SEO (en nm rms)

8 - CONCLUSION

La MFO est en cours de fabrication et l'intégration des sous-ensembles doit commencer début 98. Suite à cette intégration, une série d'essais sera menée pendant le premier semestre 98 pour valider les différents choix effectués pour ce type d'instrument. Les résultats obtenus devraient montrer qu'il est possible de poursuivre la filière SPOT avec des instruments plus petits et des solutions plus faibles coûts. Les conclusions pourront être aussi applicables à des missions scientifiques utilisant le même concept optique.