



## CAMPAGNE 2020

Après la fructueuse campagne 2019 où nous avons pu capter sur la caméra Mako de la nacelle, pour la première fois, l'image de Véga réfléchi par le miroir Nord, nous n'avons malheureusement pas pu réaliser une campagne à la Moutière en 2020.



Figure 1.

Véga réfléchi sur le miroir Nord, image captée le 08/09/19 par la caméra Mako de la nacelle

Malgré les difficultés suscitées par l'épidémie de coronavirus, le travail à Calern avait suffisamment avancé pour que nous nous préparions à partir à la Moutière quand une panne informatique intermittente est survenue lors de tests en juillet. L'origine de cette panne a été rapidement identifiée, il s'agissait d'une carte de contrôle/commande qui n'est plus fabriquée. Malgré la découverte de quelques pièces de rechange, nous n'avons pas voulu prendre le risque de nous trouver en difficulté à la Moutière et nous avons annulé la campagne d'été prévue initialement à cheval sur août et septembre.

### A - Jusque là, coté matériel, nous nous étions concentrés sur deux points :

1/ **l'amélioration des viseurs étoile nacelle**, en mettant au point un nouveau système de viseur, en remplaçant le coin de cube, clé du dispositif optique, et le télescope ETX associé, par un coin de cube modifié

par décalage du dièdre et une petite lunette peu inclinée. Cette nouvelle disposition (conservant la décision prise en 2019 de suivre l'étoile avec le viseur et non plus la nacelle, décision fortement validée par le succès obtenu en 2019), permet de s'exonérer des limitations de débattement de l'ETX (entre deux pattes du tripode supportant le miroir et le viseur), et de remplacer le positionnement périlleux de la caméra à l'oculaire en sortie de l'ETX par une sortie de la lunette en position beaucoup plus confortable pour l'opérateur (et la caméra).

Avec cette amélioration géométrique, le mouvement est maintenant strictement équatorial, ce qui permet de motoriser facilement l'ensemble, alors qu'il n'était pas complètement sidéral dans le montage précédent, et il fallait donc apporter des corrections manuelles au mouvement de l'ETX, ce qui compliquait les manœuvres lors du suivi. Par ailleurs, le moteur qui assure le mouvement du viseur (identique à ceux qui manœuvrent les vis micrométriques des miroirs) est maintenant piloté par l'ordinateur de contrôle, alors que précédemment le viseur était entraîné localement par le moteur de suivi de l'ETX. Les modifications de réglage à apporter les premiers soirs d'observation pourront être ainsi conduits par l'opérateur général. De plus, l'adjonction d'un miroir basculant permet de passer aisément de l'oculaire à la caméra, opération qui nécessitait auparavant d'intervertir oculaire et caméra sur l'ETX.

Enfin, un avantage induit est que le miroir redevient centré sur le système des trois vis micrométriques, alors qu'il était légèrement décentré auparavant pour permettre le positionnement de l'ETX sur le tripode.



Figure 2. Viseur version 2019 à la Moutière



Figure 3. Le viseur dans le laboratoire à Calern en 2019

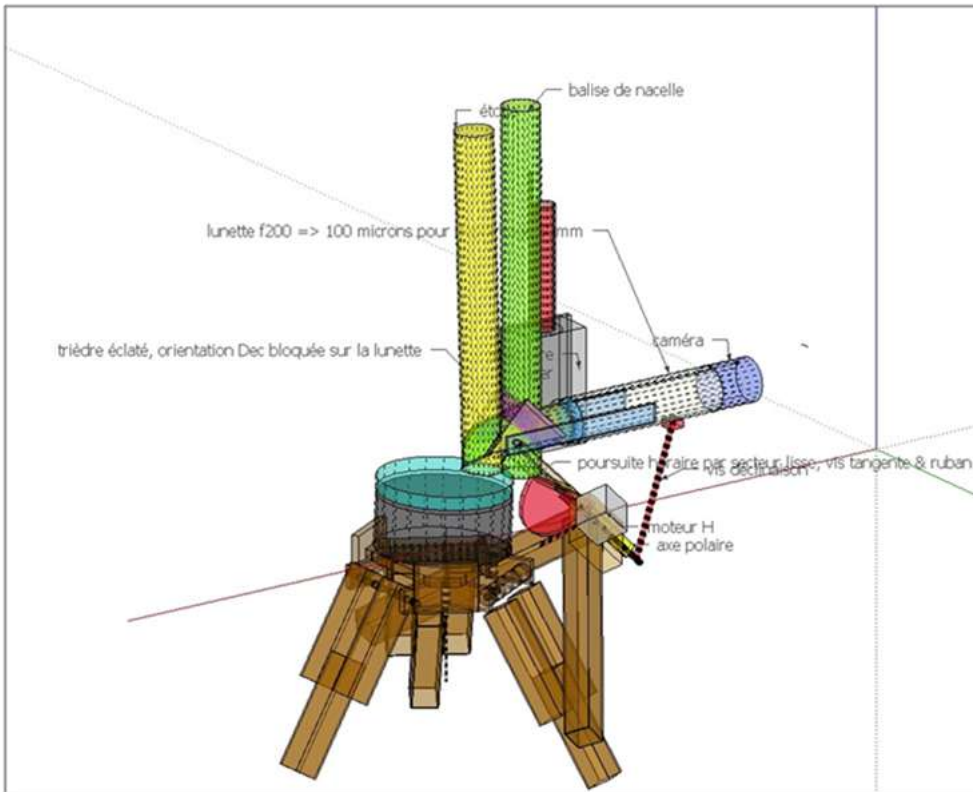


Figure 4. Etude du viseur 2020



Figure 5. Réflexion sur la définition du viseur

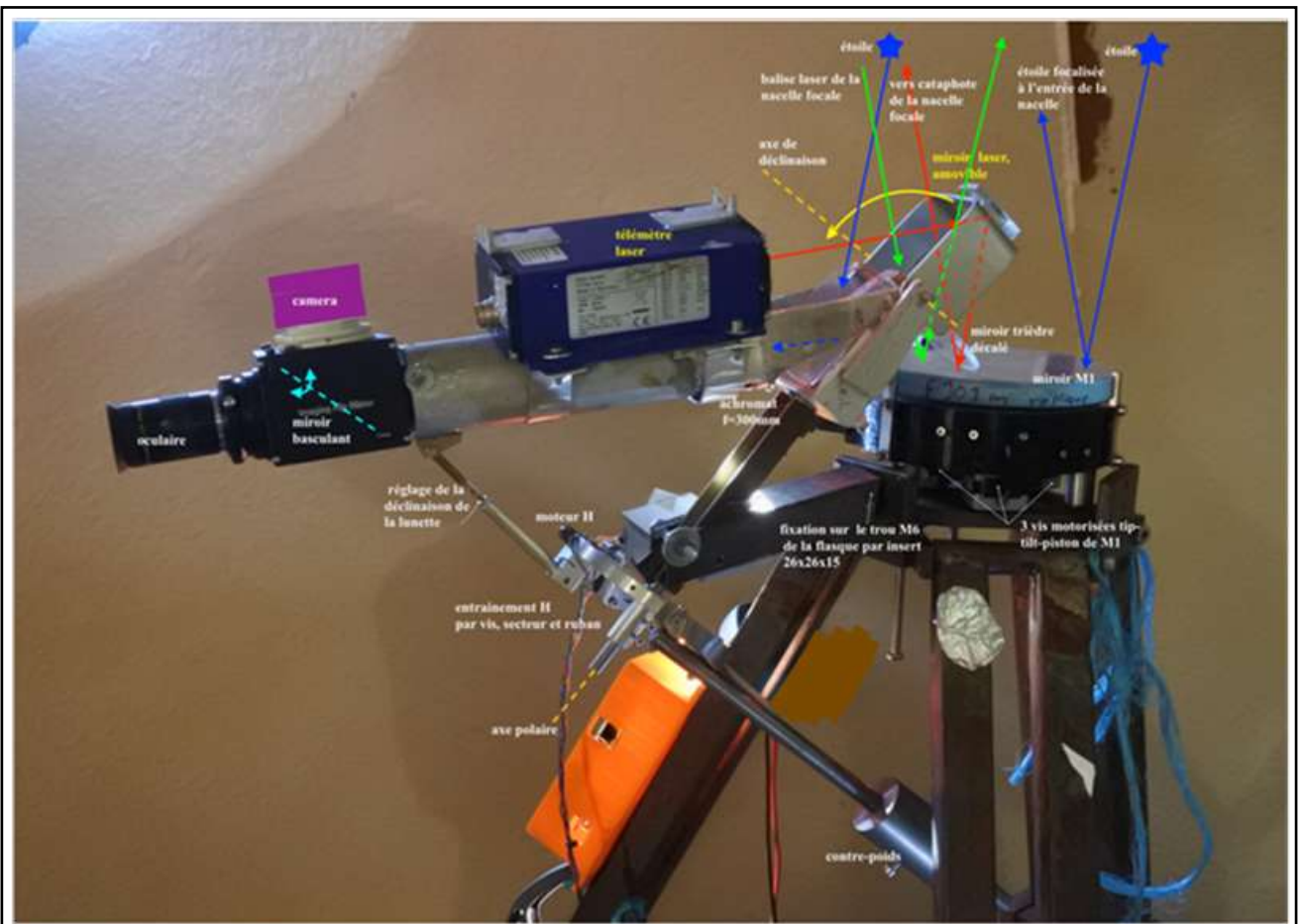


Figure 6. Eléments du viseur et chemins des rayons lumineux

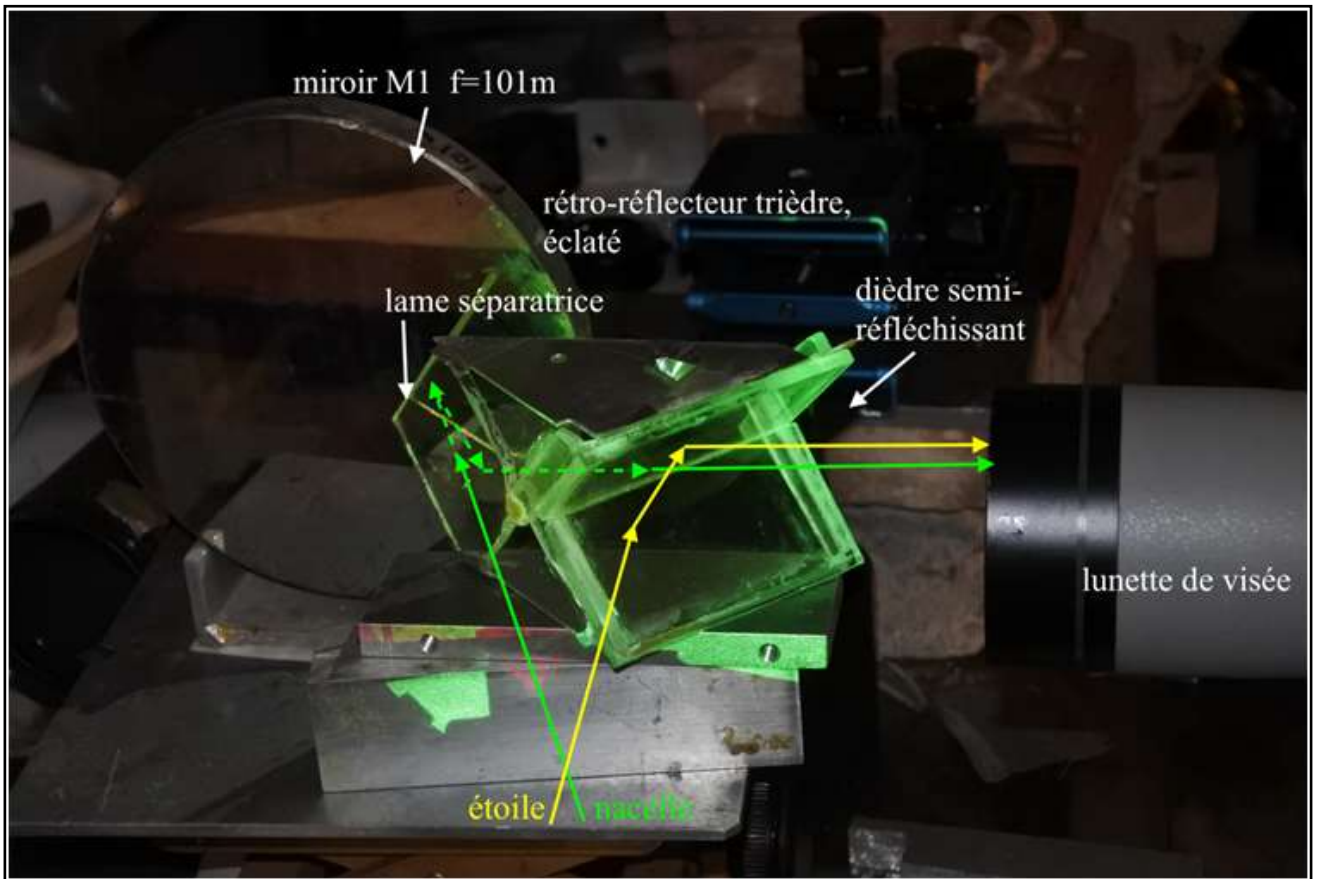


Figure 7. Essai sur table du trièdre 2020 et trajet des rayons lumineux

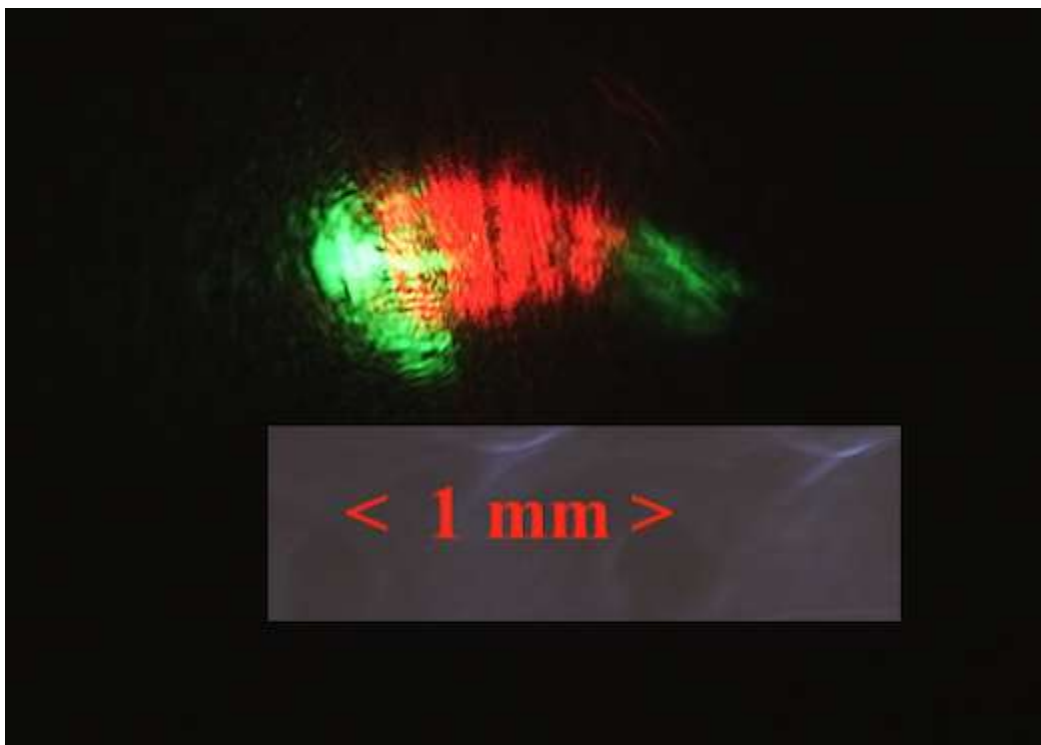


Figure 8. Calibration du dièdre à l'aide de lasers simulant l'étoile et le laser de la nacelle

2/ **le perfectionnement du système optique de la nacelle**, la caméra science n'ayant pas enregistré des images de spectre de lumière telles que nous les attendions lors de la campagne 2019.

De retour à Calern, après quelques essais, il est apparu que le champ très restreint de la caméra Basler (caméra science) nécessitait un réglage très fin de l'axe optique de la nacelle et qu'il serait préférable d'utiliser une caméra à plus grand champ pour faciliter l'acquisition simultanée sur les deux caméras (Mako et Basler).

Pour bien voir, sur le banc d'essai en laboratoire, distinctement ce qui se passe avec les rayons réfléchis par chaque miroir M1, il a été utilisé deux lasers, rouge et vert (Figure 11), pour simuler l'observation d'une étoile verte et rouge avec les deux miroirs M1 (Sud et Nord, séparés de 16 mètres au sol à la Moutière), et nous avons pu suivre les modifications de l'image reçue par la caméra en fonction de l'évolution des réglages.

Ces deux points ont pu être entrepris grâce au dispositif de test en laboratoire à plat à Calern, avec un montage optique complexe permettant de simuler la nacelle suspendue à 101 m au dessus du miroir M1 Nord, élaboré en 2019, installé dans un laboratoire de 8m de long et 3 m de large, tout en restant à l'échelle 1 pour les rayons arrivant à la nacelle et donc les images vues par les caméras. Ce dispositif permet de calibrer plusieurs des éléments du système et de simuler, en vraie grandeur, les mouvements que nous retrouverons à la Moutière, en montage en vraie grandeur, en pleine nature. Ces simulations en laboratoire ont démontré leur efficacité lors de la campagne 2019, où nous nous sommes appliqués à reproduire ce que nous avons déjà fait sur le test à plat à Calern, en adaptant nos actions à la Moutière pour retrouver des images déjà vues sur les caméras (viseurs et nacelle) lors de ces tests, ce qui facilite grandement les manipulations sur le terrain, de nuit et en temps limité.



Figure 9. Position (en rouge) des caméras Mako et Basler dans la nacelle



Figure 10. Image captée le 09/09/2019 par la caméra Basler de la nacelle. La raie de droite, disparaissant lorsqu'on éteint la LED du miroir M1, lui est attribuable. Celle de gauche semble attribuable à Véga, mais sa faible largeur est encore mal comprise

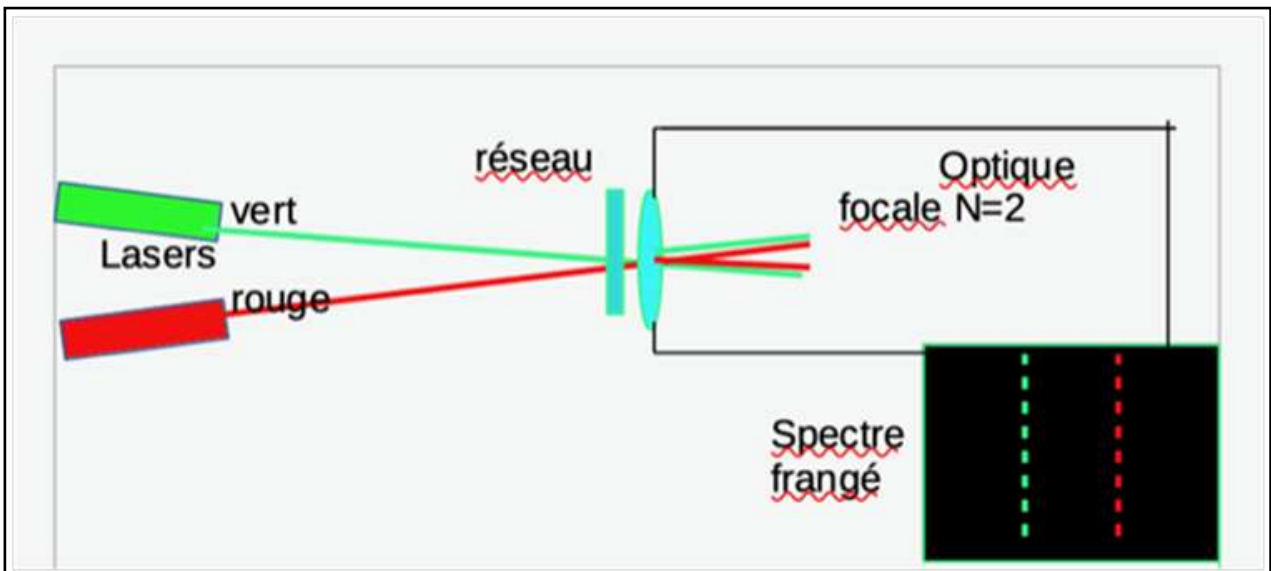


Figure 11. Schéma d'utilisation des lasers sur le banc d'essai en laboratoire

## B – Autres changements et modifications

1/ Le remplacement des cartes utilisées dans les armoires Est, Ouest et M1, rendu nécessaire par la panne intermittente mentionnée ci-avant (\*), a été réalisé avec succès et validé lors de tests en novembre. Le temps nécessaire à la bonne exécution de cette opération (suppression des anciennes cartes et

remplacement par de nouvelles, modification du code informatique et des protocoles utilisés, tests de fonctionnement) a conforté la décision prise de ne pas monter à la Moutière, la solution de contournement n'aurait pas pu être mise en œuvre, testée et validée à temps dans toutes les configurations nécessaires. Ceci souligne aussi la difficulté de maintenir en bon ordre de marche un système informatique élaboré il y a déjà quelques années, avec des éléments qui deviennent au fil du temps non maintenus par les fabricants. (\*) La panne constatée ne concernait que l'armoire M1. Mais les mêmes composants, du même âge, étant intégrés dans les armoires Est et Ouest, il nous est apparu prudent de les remplacer également.

## 2/ Modification de la liaison numérique entre M1 et le viseur Sud

En 2019, cette liaison, longue de quelques seize mètres, avait été réalisée avec un câble HDMI, et avait présenté des problèmes de fiabilité de fonctionnement pour le transfert vidéo depuis la caméra du viseur Sud. La raison du HDMI était que la caméra alors utilisée sur le viseur n'avait qu'une sortie HDMI (d'origine par le fabricant). Nous avons décidé d'utiliser la liaison Ethernet, déjà en service pour commander les moteurs des vis micrométriques du miroir Sud, pour relier la caméra du viseur moyennant les adaptations nécessaires sur cette liaison. Il a donc été décidé d'acquérir une nouvelle caméra, à connexion Ethernet, pour l'installer sur le viseur Sud. Elle va probablement remplacer la caméra science installée dans la nacelle (voir ci-avant) et, si le champ de la caméra nacelle actuelle se révèle trop petit pour une utilisation aisée du viseur Sud, une autre caméra sera achetée pour équiper ce viseur Sud.

## 3/ Amélioration du fonctionnement des moteurs Sud

La campagne 2019 avait mis en évidence que le pilotage des modifications de fonctionnement des moteurs Sud induisait des à-coups dans le mouvement de la nacelle (bien visibles sur les images vidéo de la caméra nacelle). Le mode de fonctionnement des moteurs à la suite d'un ordre de l'opérateur a été revu et amélioré (gestion de la vitesse et amortissement des démarrages et arrêts) pour réduire cet inconvénient.

## 4/ Co-parabolisation automatique des miroirs Nord et Sud

Les miroirs Nord et Sud doivent rester tangents à un paraboloïde de révolution dont l'axe passe par le centre de courbure du miroir M1 et l'étoile (la nacelle se trouve également sur cet axe, au foyer du paraboloïde). Pour ce faire, les miroirs doivent légèrement monter ou descendre (mouvement dit piston) et varier d'inclinaison (mouvement dit tip/tilt) pendant la poursuite de l'image stellaire par la nacelle. Ces mouvements sont très faibles au cours d'une heure de suivi de Vega mais sont nécessaires pour maintenir la qualité de l'image focale. Ils étaient réalisés manuellement jusqu'alors, sous le contrôle des opérateurs des viseurs étoile nacelle à chaque miroir.

La programmation devrait permettre leur automatisation, avec toutefois la capacité d'effectuer manuellement des corrections si nécessaire.

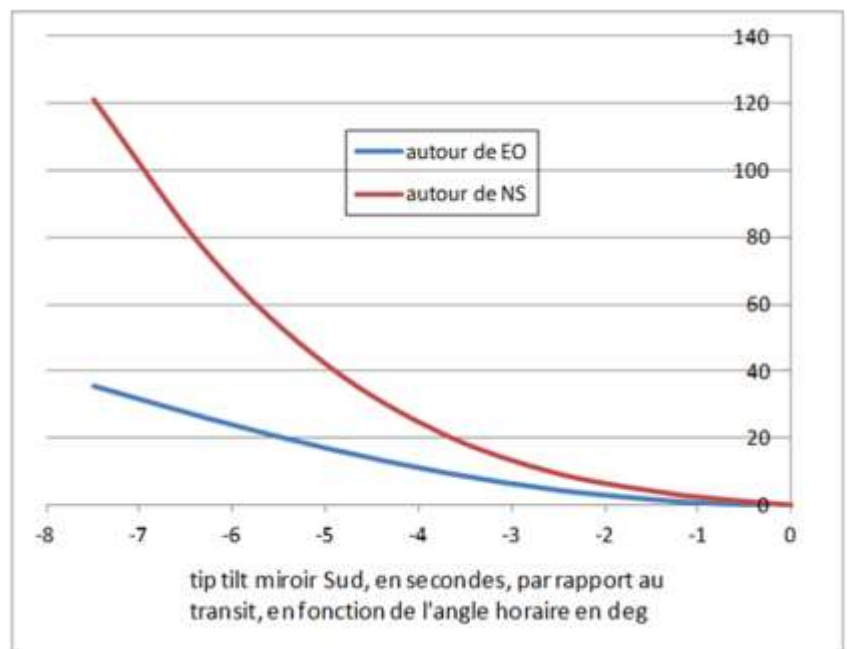


Figure 12. Evolution de l'angle de tip tilt durant le suivi, angle horaire variant de  $-7.5^\circ$  à  $+7.5^\circ$

## **C – Analyse des vidéos tournées en 2019 à la Moutière**

Nous avons traité les vidéos pour éliminer les images où la caméra est aveuglée par le laser clignotant de la nacelle (dans les séquences où celui-ci était allumé) et déterminer les séquences où la nacelle se déplaçait sans intervention de l'opérateur (c'est-à-dire sans correction de positionnement ou inclinaison de la nacelle). Une fois ces séquences identifiées, nous avons déterminé la position du barycentre de l'image de Vega, et analysé les mouvements autour de ce point.

L'analyse a déterminé que le pilotage automatique de la nacelle donnait une précision de position de l'ordre du millimètre, ce qui est la précision requise pour le bon fonctionnement de l'hypertélescope.

## **D – Autres**

### **1/ Candidature prix Gemini**

Nous avons soumis en janvier un dossier de candidature au prix Gemini, organisé par La Société Astronomique de France (SAF) et la Société Française d'Astronomie et d'Astrophysique (SF2A). Ce prix est destiné à récompenser une collaboration remarquable amateurs-professionnels en astronomie. Notre dossier n'a malheureusement pas été couronné par l'attribution du prix.

### **2/ Publication d'un article sur l'hypertélescope multi champ** dans la revue Optics Letters du 01 avril.

Co-signé par une équipe internationale (IOGS et laboratoire Hubert Curien, observatoire de la Côte d'Azur, et Académie des sciences de Chine) il a reçu deux « distinctions » :

– un OSA News,

– et un " Editor's Picks (voir notre site web pour plus de détails)

Parmi les auteurs de l'article,

Zongliang Xie et Thomas Houlier ont effectué un stage à Calern (Thomas trois mois en 2016 et Zongliang dix mois en 2017). Ils ont apporté chacun leur contribution à l'élaboration du modèle Zemax de l'hypertélescope objet de la publication,

Denis Mourard et Antoine Labeyrie sont les piliers de l'équipe qui travaille sur le projet de l'hypertélescope de l'Ubaye,

Thierry Lépine apporte son expertise en conception des systèmes optiques.

### **3/ Journée "Enseignants-Chercheurs " à Barcelonnette**

A l'initiative du rectorat d'Aix-Marseille, il était prévu une rencontre Enseignants-Chercheurs le 29 mai au centre Séolane à Barcelonnette. Elle a dû être annulée, la date se situant trop près de la période de confinement sanitaire due au coronavirus.

**4/ Une visite du site de la Moutière** a été effectuée par un membre de l'équipe début septembre, elle a permis de constater que la plateforme du tipi avait passé l'hiver sans encombre et que les quelques équipements laissés sur place étaient toujours présents. Les contrepoids Ouest nécessiteront quelques travaux de remise en état, et le panneau d'information (en bois) en bord de piste a été très endommagé par l'hiver. En un an de non utilisation du site, le retour à la nature est presque total, avec disparition des cheminements dus au passage répété des membres de l'équipe durant les campagnes précédentes.





Figures 13. Panneau à coté du chemin en 2019 et lors de la visite en septembre 2020



Figure 14. Le tripode Nord et le tripode support des viseurs de mi-base en septembre 2020



Figure 15. Le vallon de la Moutière en septembre 2020



Figure 16. La plateforme du tipi en septembre 2020

## 5/ Prospective

### 5.1/ Hypertélescope dans l'espace

Construire un hypertélescope dans l'espace permettrait d'atteindre des diamètres de méta ouverture de milliers de kilomètres. Combinés à l'intérêt de ne plus être gênés par la turbulence atmosphérique, ces diamètres importants permettraient de mieux voir les détails des objets observés et de pouvoir observer des objets très éloignés (le pulsar du Crabe pourrait être résolu avec une méta ouverture de 100 000 km). Une flotille de miroirs serait maintenue en position par l'intermédiaire de deux faisceaux laser ou bien par des voiles solaires.

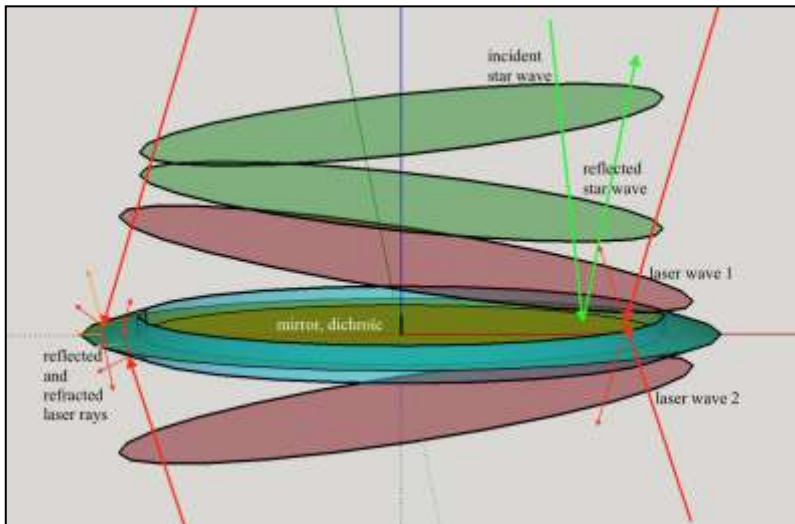


Figure 17. Piégeage d'un miroir par deux faisceaux laser

Le bord prismatique du miroir mince réfléchit une partie de l'onde laser qu'il reçoit, et en dévie le reste par réfraction. Cela stabilise respectivement l'inclinaison et le centrage du miroir. En outre, ce dernier transmet en partie l'une et l'autre ondes laser incidentes. L'onde stationnaire ainsi créée, par interférence des ondes réfléchies et transmises, stabilise la position axiale du miroir.

### 5.2/ Hypertélescope sur la lune

Dans le cadre du projet de base lunaire prévue par l'ESA, des concepts d'hypertélescope ont été développés. Un hypertélescope du type du prototype de l'Ubaye pourrait être installé dans un cratère d'impact de 10 à 25 km de diamètre.

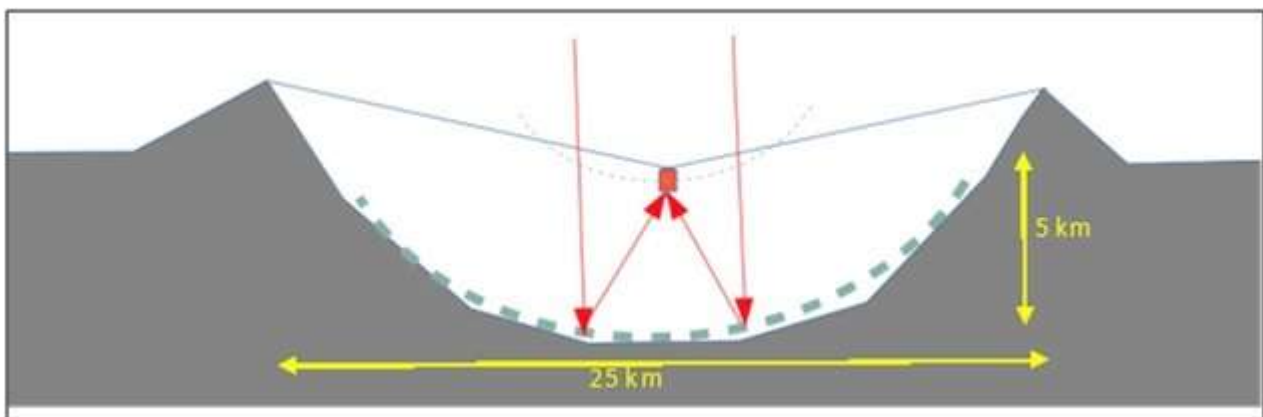


Figure 18. Hypertélescope dans un cratère d'impact

Une deuxième option, pour atteindre des méta ouvertures de centaines de kilomètres, est de réaliser l'installation dans un site relativement plat en utilisant des lignes à retard, la caméra focale restant alors au niveau du sol.