

Après un très long sommeil, deux télescopes professionnels de 1 mètre de diamètre se réveillent et reprennent du service à l'Observatoire de la Côte d'Azur. Point de princesse charmante pour réveiller les beaux endormis, juste une mini-équipe de passionnés, qui ambitionnent de faire de la science et de l'enseignement avec des télescopes petits mais costauds, qu'il faut "simplement" rénover. Les bonnes fées se penchent sur la monture à berceau : un peu de poudre magique à polir, une dose massive de patience, et la chance sourit à la petite équipe ...

C2PU Les "Very Small Telescopes" au service de la recherche

par la C2PU Team

Au commencement était l'interférométrie optique infrarouge...

Nous sommes en 1974 : le **CERGA** (Centre d'Etude et de Recherche en Géodynamique et Astrométrie) est créé à Grasse, dans les Alpes Maritimes, avec sa station d'observation sur le site de Calern, à 1270 mètres d'altitude dans l'arrière-pays grassois (voir photo 1). Sur ce plateau karstique, les instruments d'astronomie et de géodésie poussent comme des champignons. L'un d'entre eux est destiné à tester une idée prometteuse pour l'astronomie à haute résolution angulaire : l'interférométrie en infrarouge. Porté par l'astronome Jean Gay et son équipe, ce projet sera baptisé **SOIRETE**, non pas pour évoquer la douceur des crépuscules estivaux, mais pour signifier : "Synthèse d'Ouverture en InfraRouge par dETection hÉTérodyne".

L'instrument comportait deux télescopes de 1 mètre de diamètre, observant une seule et même étoile, et recombinaient leurs lumières respectives au travers d'un chemin optique compliqué, dans une longue salle équipée



1. Le bâtiment C2PU, sur le site de Calern de l'Observatoire de la Côte d'Azur.

d'imposants bancs optiques en granit... En une dizaine d'années, le prototype rend ses conclusions et termine sa (première) carrière. L'interférométrie optique sort de l'âge des pionniers et devient un outil de production dans d'immenses installations internationales.

Difficile de réutiliser ces télescopes très spécifiques, dont les optiques ont une qualité juste suffisante pour l'infrarouge moyen, mais notoirement indigente pour le domaine visible. De plus, le système de contrôle-commande, basé à 100% sur des microcontrôleurs obsolètes, est impossible à maintenir. L'installation sombre alors dans un sommeil profond, qui aurait pu être mortel. Le bâtiment devient un lieu de stockage anarchique et sert de cimetière définitivement provisoire à de nombreux composants et sous-ensembles opto-mécaniques et électroniques d'expériences terminées.

2010 : Qui pense encore à ces deux monstres endormis sous la poussière ?

Peut-être David Vernet, opticien du Collège de France, en poste à l'Observatoire de la Côte d'Azur (**OCA**) et héritier spirituel de feu Jean Texereau, qui avait depuis longtemps cette idée récurrente de polir deux miroirs pour redonner la vue et donc la vie à ces instruments par ailleurs remarquablement conçus. Peut-être aussi Jean-Pierre Rivet, chercheur au **CNRS** également en poste à l'**OCA**, qui avait entrepris en 2004 une modernisation sommaire du système de contrôle-commande, en introduisant l'informatique au moyen d'une carte d'interface "recyclée". L'atelier de polissage de David est installé dans une poudrière de l'époque napoléonienne, enfoncée sous un talus en bordure d'une route paisible du quartier de Roquevignon, à Grasse. De cet atelier est notamment sortie une multitude d'optiques de très haute qualité, destinées à équiper les expériences les plus audacieuses du Professeur Antoine Labeyrie (Collège de France). Ici naquit aussi le miroir de 40 cm en Zerodur™ du télescope Antarctique **ASTEP400** qui, un soir d'été 2010, va faire l'objet d'une réunion amicale dans une pizzeria niçoise. On mange, on rit, on pense librement. Le sort des deux télescopes de 1 mètre s'invite dans la

copies" et de l'enseignement



2. Le 20 septembre 2010: première opération matérielle du projet C2PU: le transport d'un "blank" de Zerodur™ de 300 kg depuis le sous-sol du Grand Equatorial de l'Observatoire de Nice, jusqu'à l'atelier de David Vernet (Poudrière).

conversation. La mécanique est bonne et stable, largement surdimensionnée pour des instruments de cette taille, à cause des besoins de stabilité qu'imposait leur vocation première : l'interférométrie. "Si je peux récupérer deux blanks¹ de 1 mètre de diamètre et de la poudre à polir, je vous fais deux miroirs neufs tip-top pour les télescopes de

un mètre", lance David Vernet. Ça n'était pas une parole en l'air. David se souvenait en effet de deux blanks de Zerodur™, qui avaient été utilisés dans les années 80' à l'Observatoire de Nice² pour des essais de réplification de surface optique. Depuis cette époque, ces deux pièces de plus d'un mètre de diamètre étaient entreposées dans deux grosses caisses en bois, au sous-sol de la grande coupole Bischoffsheim de l'Observatoire de Nice.

L'aventure C2PU commence...

Mais comment motiver le financement initial, même modeste, indispensable au lancement du projet ? Quelles applications viser ? C'est là que vont intervenir Lyu Abe et Philippe Bendjoya, enseignants-chercheurs à l'Université de Nice Sophia-Antipolis. Ils proposent de dédier ces instruments à la recherche ainsi qu'à l'enseignement universitaire en astronomie et géologie. Les idées fusent et on évoque plusieurs sujets scientifiques accessibles à ces instruments : caractérisation d'exoplanètes en transit, photométrie et astrométrie d'astéroïdes, participation au suivi des alertes du satellite GAIA, etc. Pour ce qui est de l'enseignement, une idée novatrice s'invite dans la conversation : pourquoi ne pas faire participer les étudiants universitaires à de vraies mesures astrophysiques, au lieu de leur faire faire des expériences "classiques" dont les résultats n'ont rien de nouveau ? Le projet C2PU (Centre Pédagogique Planète et Univers) est lancé.

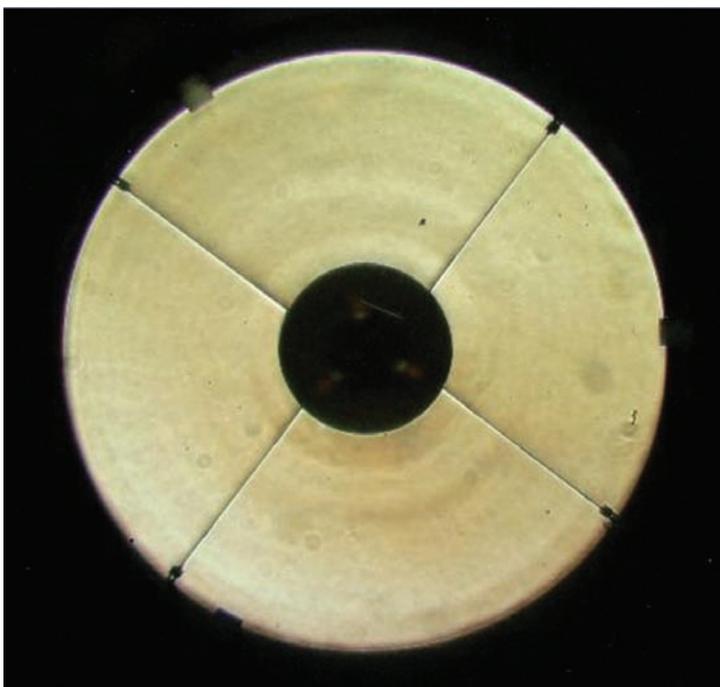
En guise de pose de première pierre, on organise un "transport de premier miroir", le 20 septembre 2010. Avec des moyens de levage et de transport improvisés et artisanaux, le premier blank de 108 cm de diamètre pour 13 cm d'épaisseur (soit près de 300 kg) est extrait de sa caisse en bois du sous-sol de la Grande Coupole de Nice, et transporté vers la poudrière de David (Voir photo 2).

¹ Disque de matière vitreuse brute (verre, Zerodur, Pyrex...), destiné à être taillé et poli pour devenir un miroir.

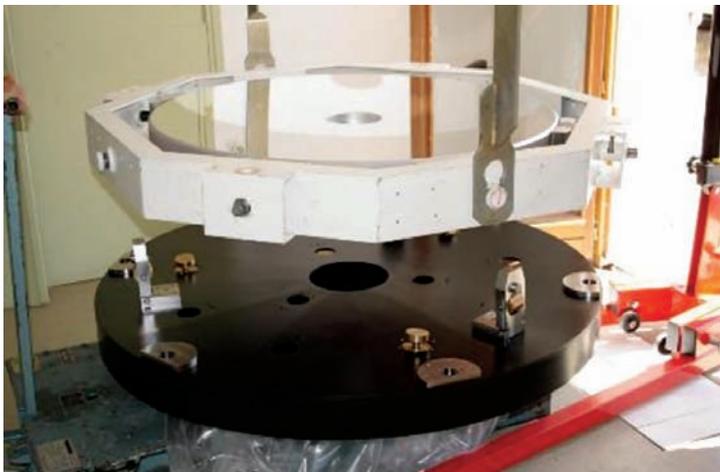
² L'observatoire de Nice, fondé en 1881 sur les hauteurs de Nice, allait devenir en 1988 l'une des composantes de l'Observatoire de la Côte d'Azur (OCA).



3. Le miroir primaire d'Omicron en cours de polissage par David Vernet, sur le tour à polir de la Poudrière.



4. Test de Foucault photographique sur le ciel pour le miroir primaire d'Omicron (sans aluminure).



5. Installation du miroir primaire d'Omicron, fraîchement aluminé, dans son barillet tout neuf.

Seize mois de polissage pour un miroir d'exception !

Au fil d'une longue et minutieuse série d'opérations complexes, ce morceau de Zerodur™ va peu à peu prendre forme, pour devenir seize mois plus tard le miroir primaire du télescope Ouest de C2PU. On le baptise **Omicron@C2PU** (Omicron est la lettre grecque équivalente au "o" latin, du mot "Ouest". Le télescope Est sera nommé **Epsilon@C2PU** pour la même raison). Le 21 décembre 2011 ne sera pas seulement jour de solstice. Ce sera aussi le jour où le fameux miroir primaire aura subi son dernier test de Foucault en atelier (voir photo 4). Verdict : "apte au service optique". Encore un peu de patience, le temps de lui fabriquer un barillet digne de sa qualité, et le premier test au foyer primaire sur le ciel est organisé, le 6 juillet 2012, avant aluminure. *"Les speckles sont propres, les p'tits gars !"* C'est la phrase historique prononcée par David ce soir d'été 2012, au sujet de son miroir de 1040 mm de diamètre utile (1060 mm de diamètre mécanique), de 2995 mm de focale ($F/D=2,88$) et d'une épaisseur de 130 mm au bord.

Ainsi est né **C2PU**. Au terme de démarches multiples et souvent infructueuses, les premiers financements arrivent, timidement (Université de Nice-Sophia Antipolis, Conseil Général 06, Observatoire de la Côte d'Azur). Le projet a rapidement reçu le soutien de Farrokh Vakili, Directeur de l'**OCA**. Il recevra aussi l'appui du Collège de France et de l'Académie des Sciences, ainsi qu'un autre soutien de grande valeur : celui de l'astronome italien Marco Scardia, de l'Observatoire Brera de Merate, une petite ville proche de Milan.

Des résultats enthousiasmants...

Aujourd'hui (juin 2014), le télescope Ouest (**Omicron@C2PU**) est dans sa configuration quasiment définitive, à quelques détails près. On y a déjà étudié de nombreuses cibles scientifiques (astéroïdes, étoiles à exoplanète, étoiles variables cataclysmiques, etc.). L'instrument est aussi utilisé par un étudiant, Maxime Devogèle, qui effectue sa thèse en cotutelle entre l'université de Liège et celle de Nice. Il y a effectué de très nombreuses mesures photométriques d'astéroïdes, dans le but d'en déterminer la forme grâce à une procédure mathématique appelée "inversion de courbe de lumière".

Au foyer Cassegrain du télescope Omicron est installé le polarimètre **CAPS** (Calern Asteroid Polarimetric Survey), un prototype unique de polarimètre simultané à double prisme de Wollaston. Cet instrument focal, issu d'une collaboration avec l'Observatoire de Turin, est destiné à l'étude physique et morphologique des astéroïdes. Encore en phase de qualification, cet instrument focal sophistiqué devrait à terme fournir de précieuses informations sur la nature physique et sur la morphologie des astéroïdes. Mais la recherche n'est pas la seule raison d'être de **C2PU**. L'équipe porteuse y a aussi organisé plusieurs

stages de formation pour des groupes d'étudiants en master, issus d'universités belges, irlandaises et françaises. De plus, dans le cadre du projet connexe **EduCosmos** porté par Olga Suarez, deux sessions de prise de commande à distance du télescope Omicron ont été organisées avec des classes de collèges niçois et grassois. Pour amplifier cette action, l'équipe organise aussi, avec le soutien du Rectorat de l'Académie de Nice, des stages de formation pour les enseignants. Enfin, grâce à l'aide efficace de collègues amateurs³, Omicron a aussi permis d'effectuer quelques belles images d'objets célestes. Voir la rubrique **Sur le net** en fin d'article.

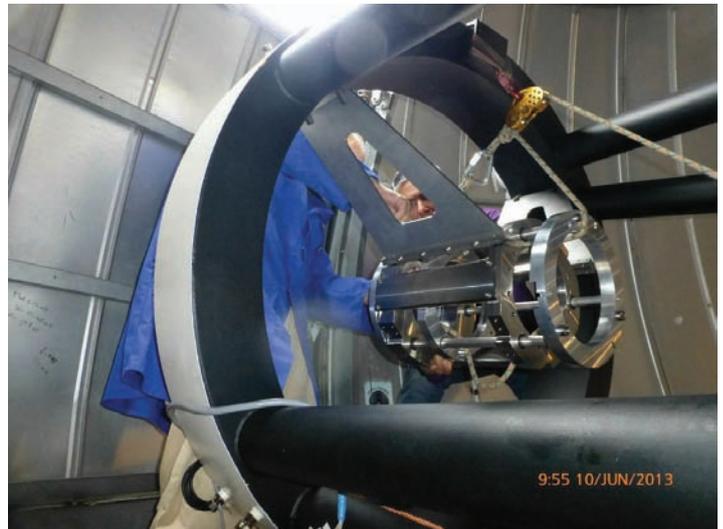
Le télescope Est, **Epsilon@C2PU**, est en cours de rénovation. Son miroir primaire est prêt et sa modernisation mécanique est en cours. Le barillet sera un peu plus complexe que celui d'Omicron, car le miroir primaire est plus mince, en forme de ménisque, ce qui impose une conception plus soignée des appuis arrière et latéraux. Il est en cours d'assemblage dans les ateliers de mécanique de l'Observatoire de la Côte d'Azur. On espère les premières lumières pour le début d'hiver 2014.

Le "couteau suisse" de l'astronomie

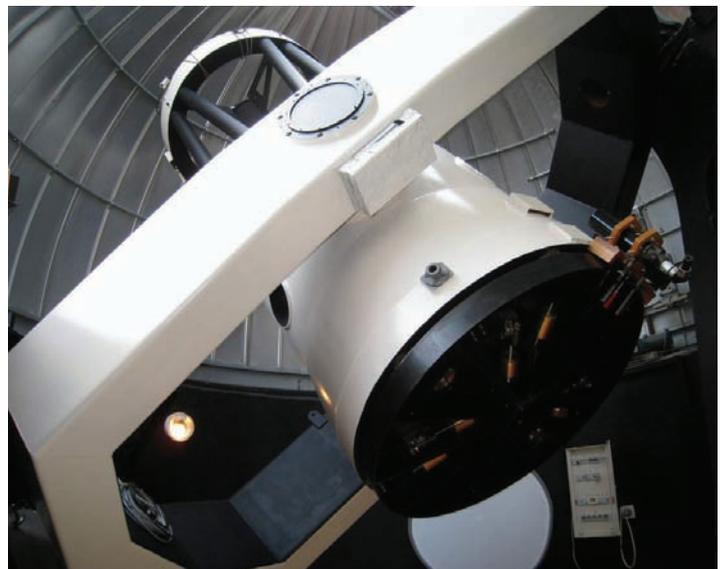
La recherche de la polyvalence et d'une certaine flexibilité a guidé les choix techniques pour cette remise à niveau des télescopes de **C2PU**. Le télescope **Omicron@C2PU** peut fonctionner selon deux modes principaux :

- **Foyer primaire** : équipé de son correcteur de Wynne à trois lentilles, il est ouvert à F/3.17, avec une obstruction centrale de 300 mm. Il permet l'utilisation de capteurs de type KAF-16803, de 37x37 mm, au prix d'un léger vignettage dans les coins. Le champ accessible est alors de 38x38 minutes d'arc, avec une échelle de 0,56'' par pixel. On peut y installer les caméras STX16803, QSI632 et iXon Ultra 897 (EMCCD). Cette dernière caméra peut déclencher par un signal TTL une carte GPS Meinberg PCI170 installée sur un ordinateur auxiliaire, pour produire des images à haute cadence et datées avec précision. Le but est bien sûr le suivi d'occultations d'étoiles par des astéroïdes et des TNO's (Trans-Neptunian Object). A terme, ce foyer sera équipé d'un carrousel à 6 filtres 65x65 mm, de conception originale pour ne pas augmenter l'obstruction centrale. Il sera équipé d'une rotation de champ motorisée, pour tirer le meilleur parti du capteur de guidage de la caméra STX16803. Il est idéal pour l'imagerie à grand champ, pour la photométrie et l'astrométrie de précision exigeant de nombreuses étoiles de référence.
- **Foyer Cassegrain** : ouvert à F/12,5, il est idéal pour l'imagerie planétaire et pour la polarimétrie d'astéroïdes. Le port Cassegrain est équipé d'une platine rotative manuelle. On peut y adapter un

³ Par ordre alphabétique : D. Albanese, B. Augier, E. Bondoux, R. Knockaert, Ch. Munier, J. Pajus, J.P. Prost, S. Roata, F. Valbousquet.



6. Installation sur l'anneau de tête d'un module comportant un correcteur de Wynne pour le foyer primaire et un support pour le miroir secondaire du foyer Cassegrain. 60 kg d'acier inoxydable suspendus au bout d'une corde d'escalade...



7. Le télescope Omicron de C2PU après sa restauration.



8. La coupole Ouest de C2PU, rendue transparente par la magie de la photographie!



La nébuleuse **IC5146** "Le Cocon", imagée pendant l'été 2012 au foyer primaire provisoire d'Omicron@C2PU. Un correcteur de coma commercial provisoire remplaçait l'actuel correcteur de Wynne. Couleur RVB avec caméra ST4000 XCM : 104x4mn. Prétraitement DeepSkyStacker. Traitement : Iris + Photoshop

porte-oculaire commercial à crémaillère, avec coulants de 2" et 1³/₄". On peut aussi y adapter le polarimètre CAPS.

Ce télescope est accessible à distance, sous certaines conditions, par une liaison Internet. Ce mode qualifié de "remote partiel" (un opérateur doit être présent pour ouvrir et fermer le dôme) sera étendu à terme en mode "full remote" (contrôle à distance complet, sans opérateur sur place). C'est le mode "remote partiel" qui a été utilisé pour mettre l'instrument à la portée de deux classes de collégiens, opérant depuis leur salle de classe dans le cadre du projet **EduCosmos**.

Le télescope Est (**Epsilon@C2PU**) fonctionnera selon trois modes :

- **Foyer Cassegrain** : ouvert à F/12,5, il sera analogue à celui du télescope Omicron, avec une spécialisation en imagerie planétaire et en spectroscopie.
- **Foyer PISCO** : identique au foyer Cassegrain simple, il se caractérise par un détournement du faisceau optique vers le tavelographe **PISCO** (voir infra), au moyen de deux miroirs plans.

- **Foyer coudé** : Ouvert à F/35, il nécessite un miroir secondaire spécifique, ainsi que trois miroirs plans dont l'un est monté sur un mécanisme à pantographe qui produit l'inclinaison d'un angle moitié de la déclinaison, pour renvoyer le faisceau dans l'axe polaire Nord de la monture à berceau. Le foyer coudé qui en résulte sera disponible dans une salle focale attenante, sur un banc optique maçonné sur fondations indépendantes. Des observations nécessitant une instrumentation lourde et peu mobilisable y seront accueillies (spectrographe, correction de tip-tilt, voire optique adaptative et/ou coronagraphie).

Le tavelographe PISCO : retour au pays...

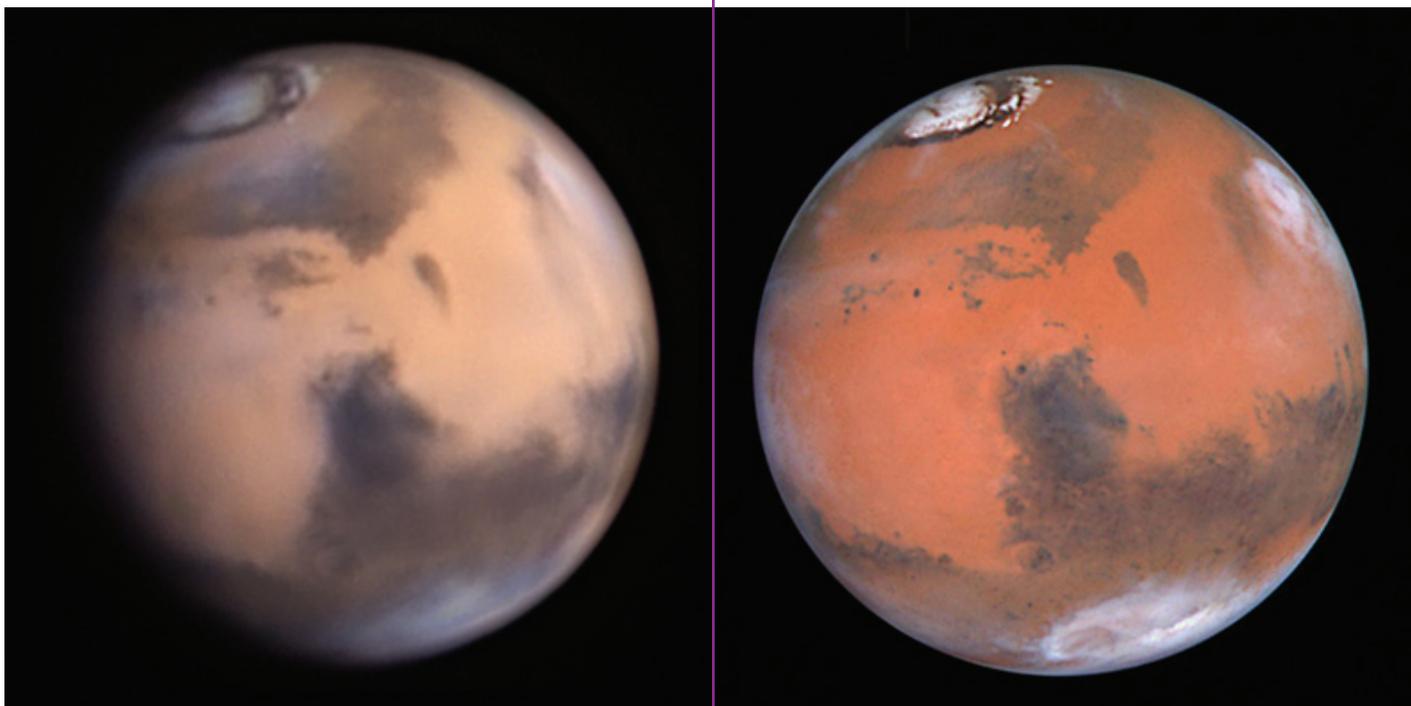
Le tavelographe **PISCO** (pour Pupil Interferometry Speckle COronagraph) est né en 1994 dans le Sud-Ouest de la France. Grâce aux efforts de l'équipe de synthèse d'ouverture de l'Observatoire Midi-Pyrénées (J.-L. Prieur, L. Koechlin et leurs collègues), cet instrument a vu le jour (ou plutôt la nuit) au foyer du télescope de 2 mètres du Pic du Midi (**TBL**). Son but ? Prendre de vitesse la

turbulence atmosphérique, pour en réduire les effets délétères sur la résolution angulaire des images. Sa spécialité ? Les étoiles doubles bien sûr. Après un début de carrière français, l'instrument est confié aux bons soins de l'équipe italienne de l'astronome Marco Scardia, spécialiste reconnu d'étoiles doubles. L'instrument continuera sa carrière au foyer du télescope Zeiss de 1 mètre de l'observatoire Brera de Merate, près de Milan. Pour échapper à l'urbanisation croissante de ce site, Marco Scardia propose de ramener le fameux tavelographe dans son pays natal. Le télescope **Epsilon@C2PU** ferait l'affaire selon lui, et il n'hésite pas effectuer la donation d'une forte somme sur ses deniers personnels, pour accélérer la restauration de ce télescope en échange de son accueil dans l'équipe **C2PU**.

C'est donc à l'automne 2014 que **PISCO** reverra la France, pour y continuer sa carrière de mesureur d'étoiles doubles à l'Observatoire de la Côte d'Azur, au foyer Cassegrain F/12.5 du télescope **Epsilon@C2PU**. Il apportera ainsi un renfort de poids à l'équipe azurienne de "duplicistes" (spécialistes d'étoiles doubles) initiée par l'astronome Paul Couteau il y a une cinquantaine d'années, qui exploite une version allégée de **PISCO** au foyer de la grande lunette de 76 cm du site du Mont Gros de l'**OCA** (ex-Observatoire de Nice).

C2PU Calern

Hubble



Mars (à gauche) imagée au 1 mètre C2PU de Calern avec une caméra M42 Optique PLA-Mx (capteur ICX618), une Barlow Baader FFC, des filtres IR 742nm pour la luminance et RGB pour la colorisation (tous étant des filtres Astronomik) et un correcteur de dispersion atmosphérique ADC Piero Astro indispensable étant donnée la faible hauteur de la planète lors des acquisitions. Les conditions étaient assez turbulentes cette nuit là sur Calern, mais une sélection sévère des images (10% des images retenues sur les 6000 acquises) a permis de ne retenir que les meilleures acquisitions et d'obtenir une multitude de détails notamment dans la région du pôle Nord. On voit également très bien le cratère Huygens dans l'hémisphère Sud, avec une impression de relief très nette (on distingue même le pic central).

Il est intéressant de comparer cette image avec une image de Hubble (à droite) réalisée en 1999 sur la même partie de Mars et heureux hasard à la même saison (longitudes solaires très similaires) : on retrouve des formations nuageuses semblables et aux mêmes endroits et ce 15 ans après !

Photo : Jean-Pierre Prost et David Vernet - Centre Pédagogique Planète et Univers

Les astronomes en culottes courtes d'EduCosmos

Le projet **EduCosmos** a été initié par notre collègue Olga Suarez sur la base d'une expérience analogue menée avec succès en radioastronomie dans son pays d'origine, l'Espagne. Ce projet pédagogique novateur s'appuie sur l'infrastructure de **C2PU** et sur sa capacité d'accès à distance par réseau. Il propose aux étudiants pré-universitaires (lycéens et collégiens) une approche participative de l'astronomie, en leur offrant un accès à distance au télescope **Omicron@C2PU** pour effectuer de

vraies mesures scientifiques (photométrie d'astéroïdes par exemple). Dans ce cadre, sont aussi organisés des stages de formation d'enseignants en collaboration avec le Rectorat de l'Académie de Nice. Ce projet symbiotique du projet **C2PU** a reçu le soutien du Conseil Général 06 et du Conseil Régional **PACA**. Des sessions d'observations ont été organisées avec des élèves de 5ème et 4ème de collèges de Nice, Grasse et Cannes. L'enthousiasme des collégiens justifie, s'il est besoin, les efforts joints des équipes **EduCosmos** et **C2PU**. La première session **EduCosmos** a eu lieu le 25 juin 2013 et a fait l'objet d'une couverture dans les media locaux.



La galaxie **M51**, imagée par Omicron@C2PU (foyer primaire provisoire). Couleur RVB avec caméra ST4000 XCM : 79x2mn
Prétraitement DeepSkyStacker. Traitement : Iris + Photoshop. Première lumière avec le correcteur de coma définitif (correcteur de Wynne à 3 lentilles)



La nébuleuse **NGC 7635**, imagée par Omicron@C2PU (foyer primaire provisoire). Couleur RVB avec caméra ST4000 XCM : 112x2mn. Prétraitement DeepSkyStacker. Traitement : Iris + Photoshop

✓ Remerciements

L'équipe C2PU remercie Farrokh Vakili, le Directeur de l'Observatoire de la Côte d'Azur pour son soutien moral et financier. Elle remercie aussi chaleureusement l'astronome Marco Scardia pour sa contribution financière privée, ainsi que l'Université de Nice-Sophia Antipolis, le Conseil Général des Alpes Maritimes et le Conseil Régional PACA pour leur contribution au développement de ce projet.

✓ Sur le net

<http://c2pu.oca.eu>
www.astrosurf.com/astrophoto/035548.html
www.astrosurf.com/astrophoto/038113.html

✓ L'auteur

La « **C2PU Team** » (ordre alphabétique) : Lyu Abe, Philippe Bendjoya, Jean-Pierre Rivet, David Vernet, Laboratoire Lagrange, Université de Nice-Sophia Antipolis, CNRS, Observatoire de la Côte d'Azur.

Email : c2pu@oca.eu
Site : <http://c2pu.oca.eu>

www.astrosurf.com/astrophoto/036052.html
www.astrosurf.com/astrophoto/041100.html
www.astrosurf.com/astrophoto/041479.html