

Concordia – Dôme C (2^e partie) un ciel d'une qualité extraordinaire

Isabelle VAUGLIN, CRAL – Observatoire de Lyon, 69230 Saint-Genis-Laval
Membre du Comité National Français des Recherches Arctiques et Antarctiques (CNFRA)
Représentante française dans le groupe des sciences physiques du Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR)

Il s'agit de la suite de l'article paru dans le numéro 162 des Cahiers Clairaut. L'auteur décrit la variété des instruments installés sur le site et les résultats déjà obtenus.

Exploitation de Concordia

À côté des activités scientifiques en glaciologie, sismologie, science de l'atmosphère, plusieurs instruments astronomiques ont été installés sur la base, en grande partie développés par les astronomes de l'observatoire de la Côte d'Azur à Nice :

- BRAIN, interféromètre bolométrique pour étudier le fond diffus cosmologique ;
- Cochise pour la cosmologie en submillimétrique et millimétrique ;
- Givre, pour évaluer les conditions d'apparition du givre sur les optiques des télescopes et l'éliminer ;
- la plateforme Concordiastro qui accueille la plupart des instruments destinés à la caractérisation de l'atmosphère : seeing, temps de cohérence, angle

d'isoplanétisme, taux de scintillation ;

- IRAIT, télescope infrarouge italien de 80 cm de diamètre de l'université de Perugia (Pérouse) ;
- PAIX, photomètre multi-couleur du proche UV au proche IR construit par Merieme Chadid de l'observatoire de la Côte d'Azur. Monté sur un télescope Cassegrain de 40 cm avec un champ de vue de $12' \times 8'$ et totalement robotisé depuis 2013, il est capable de fonctionner jusqu'à -80°C . PAIX permet d'étudier les pulsations stellaires et leur évolution en observant en continu sans interruption pendant plus de 150 nuits. Par le logiciel PACS, le photomètre est commandé et contrôlé depuis Nice pour faire les observations à distance ;
- ASTEP, télescope de 40 cm pour la recherche des exoplanètes par la méthode des transits (figure 9).



Fig.9. À côté de la plateforme Concordiastro, le télescope ASTEP – un télescope de Newton de 400 mm de diamètre avec un champ de vue de 1 degré carré. Largement automatisé, ASTEP est pointé en continu sur β Pic depuis mars 2017 afin d'y détecter un éventuel transit de l'exoplanète β Pic b (photo Djamel Mekarnia, OCA).

Construit et exploité par l'équipe de Djamel Mekarnia et Tristan Guillot du laboratoire Lagrange de l'observatoire de la Côte d'Azur, ASTEP (Antarctic Search for Transiting Extrasolar Planets) est un télescope automatique de 40 cm dédié à la recherche de transits planétaires depuis le Dôme C. Le site réunit en effet plusieurs atouts majeurs pour la recherche d'exoplanètes en transit depuis la Terre : une nuit continue de plus de 3 mois pendant l'hiver austral, quasiment sans nuage et sans précipitation, la possibilité d'observer des champs d'étoiles avec peu de variations de masse d'air et une scintillation très faible qui permet une très grande précision photométrique. ASTEP a fonctionné entre 2010 et 2014 et son premier résultat significatif a été la

détection du transit secondaire (passage de la planète derrière son étoile, appelé aussi occultation) de l'exoplanète WASP-19b, déjà connue. Ce résultat a montré la puissance d'ASTEP-400 car les transits secondaires sont très difficiles à observer depuis le sol. De mars à octobre 2017, le télescope a pointé exclusivement l'étoile β Pic, de type spectral A5V, une étoile très jeune d'environ 20 millions d'années, variable de type δ Scuti. En 1983, le satellite infrarouge IRAS avait détecté un important excès infrarouge dû à un disque de débris vu par la tranche dès 1984. β Pic illustre la phase finale de formation des systèmes planétaires, avec un bombardement cométaire intense sur l'étoile.

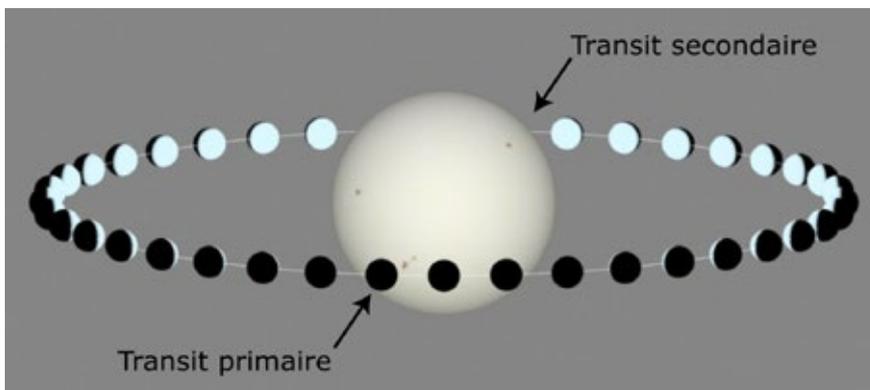
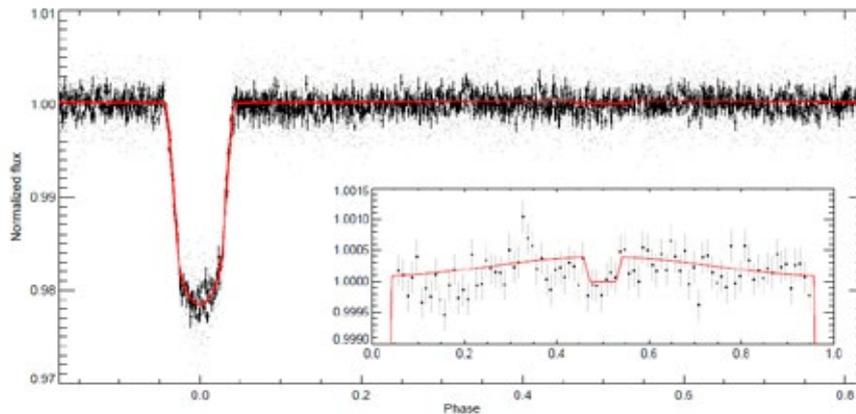


Fig.10. Transit et occultation de WASP-19b observés par ASTEP (Abe et al., A&A 553 en 2013). La courbe de luminosité de l'étoile (en bas) montre une diminution de flux de plus de 2 % correspondant au transit primaire et une très légère variation ($< 0,1$ %) à la phase 0,5 correspondant au transit secondaire ou occultation.



En haut, schéma de l'« effet de phase », présent dans les données, cohérent avec une orbite circulaire de la planète autour de l'étoile.

En 2008, en imagerie avec l'instrument NaCo sur le VLT, A.M. Lagrange découvre β Pic b, une exoplanète de 10 fois la masse de Jupiter à 8 ua de son étoile, de période orbitale environ 20 ans. Cette découverte a donné l'explication de la mystérieuse baisse de luminosité de β Pic observée le 10 novembre 1981 : c'était très probablement l'observation du transit de la planète β Pic b devant son étoile.

Comme en 1981, la planète β Pic b devait repasser devant son étoile (ou presque) entre avril 2017 et janvier 2018, opportunité ne se reproduisant pas avant 18 ou 36 années. Il fallait bien sûr des observations

continues pendant toute la durée possible du transit afin de ne pas le rater ! Dans le cadre de la collaboration internationale qui s'est mise en place, la meilleure possibilité de détection était celle par ASTEP depuis Concordia ! Les données sont toujours en cours de traitement, mais une première analyse ne montre pas d'enregistrement d'un transit, la planète est peut-être passée un peu trop décalée de son étoile... Par contre, la grande précision photométrique des observations réalisées a permis de caractériser les pulsations de cette étoile de type δ Scuti, jusqu'aux plus faibles : 31 fréquences de pulsation ont été détectées.

D'autres observations avec ASTEP sur quatre hivers successifs ont conduit Nicolas Crouzet et ses collègues à découvrir un couple d'étoiles naines binaires à éclipses de longue période (76 jours). Les périodes des systèmes binaires à éclipses détectés jusqu'à présent étaient toujours inférieures à une dizaine de jours. Il fallait des observations continues pendant les quatre mois d'hiver austral, et les conditions météo excellentes du Dôme C pour pouvoir détecter des objets variables à si longue période.

Le projet ASTEP+ est de construire maintenant un instrument totalement robotisé et optimisé, capable d'atteindre une précision photométrique encore meilleure. ASTEP+ est prévu pour être opérationnel à Concordia en 2019. Il pourra être utilisé aussi pour faire le suivi des candidats exoplanètes découverts par le satellite TESS lancé par la NASA en avril 2018.

Projet d'un télescope de 2,5 m de diamètre

Pour tirer le meilleur profit des conditions atmosphériques exceptionnelles, nous avons proposé un télescope hors-axe de classe intermédiaire (*Polar Large Telescope*, PLT, de 2,5 m) infrarouge (de $0,8 \mu\text{m}$ à $5 \mu\text{m}$), à haute résolution angulaire ($\approx 0,3''$ en GLAO, *Ground Layer Adaptive Optics*) et grand champ ($0,5^\circ$ en diamètre). Les sujets scientifiques de PLT étaient focalisés sur les domaines d'excellence du Dôme C, à savoir l'imagerie et la spectro-imagerie profonde et à haute résolution angulaire en infrarouge entre 2,2 et $5 \mu\text{m}$. Ce domaine spectral n'a jamais été exploré simultanément à grand champ et en haute résolution angulaire.

Un premier concept optique menée par Gil Moretto a montré que pour exploiter au mieux les qualités du site du Dôme C, un télescope hors-axe était de loin le plus performant car il donne une pupille « propre »

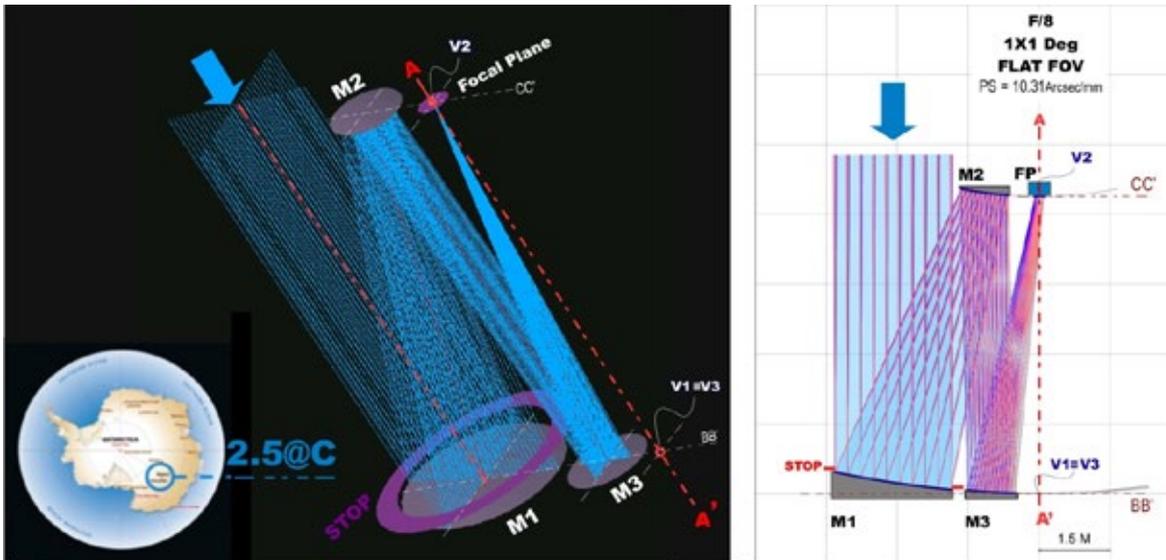


Fig.11. Conception optique du télescope PLT infrarouge hors-axe de 2,5 m, grand champ (@Gil Moretto) ; sans obstruction centrale, la pupille est propre et elle donne un télescope de grande dynamique pour la photométrie. Un design à 3 miroirs permet un champ de $1^\circ \times 1^\circ$.

donc une faible lumière diffusée, une faible émissivité et permet un grand champ de vue.

Réduire les sources d'émission thermique propres est un must pour l'astronomie infrarouge et minimiser la lumière diffusée offre un bien meilleur contraste et permet d'observer une part plus importante du champ, là où les télescopes classiques sont aveugles à cause de la lumière diffusée par l'araignée du secondaire. C'est aussi un avantage considérable pour la détection des exoplanètes, très peu lumineuses à côté des étoiles brillantes et des faibles nébulosités autour des étoiles jeunes, là où les planètes peuvent se former.

Le caractère particulier de la couche de turbulence d'épaisseur très limitée au-dessus de Concordia fait aussi que les techniques d'optique adaptative particulières (*Ground Layer Adaptive Optics*, GLAO) pourraient être extrêmement efficaces et fournir des résultats remarquables.

Nous avons soumis à l'ANR le projet « ANGISS : Assessment of a New Generation of Infrared Sky Survey for the E-ELT and EUCLID era », hélas non financé. Le télescope PLT serait équipé d'une caméra infrarouge $2,5\text{-}5 \mu\text{m}$ à refroidissement passif, haute résolution angulaire grâce à la GLAO.

Il sera focalisé sur le domaine d'excellence du Dôme C, à savoir l'imagerie et la spectro-imagerie profonde et à haute résolution angulaire en infrarouge entre 2,3 et 5 μm . Ce domaine spectral n'a jamais été exploré simultanément à grand champ et en haute résolution angulaire. PLT permettra la caractérisation des objets très lointains (galaxies à grand z), des objets très obscurcis (MIS dense, populations stellaires extrêmes, SN Ia) et des objets très froids (étoiles de type T, exo-planètes). Ce programme n'est réalisable au sol que dans les conditions très particulières du Dôme C. PLT sera l'instrument le plus performant jamais réalisé dans ce domaine et permettra d'effectuer de longues séries temporelles pour suivre les étoiles variables de tout type, les phénomènes transitoires, les pulsation stellaires (astérosismologie).

Difficultés

Les sites polaires présentent évidemment des inconvénients tels que les difficultés d'accès, les capacités réduites de construction d'instruments lourds, l'approvisionnement limité en énergie, l'isolement, les difficultés du travail extérieur hivernal et les communications limitées. Les stations en activité ont montré qu'aucun n'est, en fait, insurmontable puisque plusieurs d'entre elles et notamment la station US Amundsen-Scott au pôle Sud a pu se doter d'instruments de grande dimension (ICE Cube pour la détection de neutrinos, SPT radiotélescope de 10 mètres d'ouverture pour l'étude du fond diffus cosmologique).

Même si, jusqu'à présent, la station Concordia s'est limitée à l'accueil de petits instruments, elle est la seule avec celle du pôle Sud à offrir des capacités d'hivernage aux astronomes. La station russe Vostok n'accueille pas d'instruments astronomiques et les autres stations en cours d'aménagement (Dôme A pour les Chinois et Dôme F pour les Japonais) ne sont pas encore équipées pour l'hivernage et ne le seront peut-être jamais. Ces derniers mois, les astronomes japonais ont d'ailleurs pris contact avec les astronomes français pour discuter d'une éventuelle collaboration au Dôme C. Ils semblent désormais abandonner l'idée d'une station permettant des hivernages à Dôme F, trop difficile à réaliser. Cela impliquerait d'ouvrir la station Concordia, purement franco-italienne jusqu'à présent, à l'international. L'IPEV doit donner son accord et veiller à faire respecter le savoir-faire acquis par sa longue expérience de travaux en milieux polaires, financée par les contribuables français et italiens !

La question de la pertinence du développement à Concordia d'instruments significativement plus

« grands » et plus coûteux que les précédents et ayant des objectifs scientifiques bien plus ambitieux a été longuement débattue dans les différents pays concernés (Australie avec le projet PILOT, Europe dans le réseau ARENA et PLT, Chine avec le projet KDUST). Aucun de ces projets n'a jusqu'à présent été en mesure de réunir le financement nécessaire, au-delà de phases de conception (phase A pour PILOT et PLT).

Il pourrait cependant y avoir un grand intérêt de la part des industriels et des PME à étudier, développer sous forme de R&D et mettre au point des technologies fortement robotisées et adaptées au fonctionnement dans des conditions polaires extrêmes.

Nous sommes convaincus que les propriétés extraordinaires de Concordia pour l'astronomie font qu'un jour ou l'autre, elles seront exploitées. Espérons que les Français seront capables d'en profiter, et dans un avenir pas trop lointain !

Bibliographie

- *Planète blanche*, Jean Jouzel, Claude Lorius et Dominique Raynaud, ed. O. Jacob
- Aristidi et al., 2005, 2006 et 2009
- Chamberlin, 2000
- Site d'ASTEP : astep.oca.eu/fr
- Site de l'IPEV : <http://www.institut-polaire.fr/language/fr/>

