

Le Ciel

The background of the entire page is a deep night sky. The Milky Way galaxy is visible as a dense band of stars stretching across the frame. In the foreground, the white, rounded dome of an observatory is partially open, revealing a telescope and some equipment inside. The sky is filled with numerous stars of varying brightness and colors, including a prominent blue star in the upper center.

Société astronomique de Liège

Février 2019

Mensuel (ne paraît pas en juillet-août)

Éditeur responsable : Jean Manfroid, avenue de Cointe, 5 4000 Liège Numéro d'agrément P701237



L'observatoire SPECULOOS-Sud

*Emmanuel Jehin
et Michaël Gillon
(ULiège, FNRS)*

Après quatre années de préparation et deux années de travail sur le site, l'observatoire SPECULOOS Sud a été installé avec succès dans l'enceinte de l'observatoire européen austral (ESO) de Paranal. C'est la veille de la Saint Nicolas, une date de circonstance, que l'observatoire a été inauguré en présence des autorités de l'université de Liège et de l'ensemble de l'équipe SPECULOOS¹ rassemblant des chercheurs de nombreux pays et dirigée à Liège par le chercheur liégeois Michaël Gillon. Après cette « First Light » symbolique pour montrer que les télescopes sont opérationnels, ces nouveaux chasseurs d'exoplanètes débute-

*Le télescope Io de l'observatoire
SPECULOOS-Sud.
(P. Aniol/ASTELCO)*

ront officiellement leurs observations scientifiques en janvier 2019.

Placé sous la houlette de l'université de Liège, le projet SPECULOOS (Search for habitable Planets ECLipsing ULtra-coOL Stars) a pour mission d'observer les ~ 1000 étoiles naines ultra-froides et naines brunes les plus lumineuses et les plus proches (situées à moins de 120 années-lumière) afin de découvrir des planètes de type terrestre tempérée par la méthode des transits. Les populations planétaires de ces étoiles demeurent quasi inexplorées à ce jour. Seules quelques exoplanètes ont été dé-

1 <http://www.speculoos.uliege.be/>

couvertes en orbite autour de ces étoiles dont les fameuses planètes TRAPPIST-1² grâce au télescope liégeois du même nom. Ces étoiles de faible luminosité, donc difficiles à observer, sont pourtant nombreuses – elles représentent en effet quelque 15% de l'ensemble des étoiles proches. Les planètes transitant devant ces étoiles sont parmi les meilleures candidates pour une caractérisation détaillée de leurs atmosphères avec les télescopes géants du futur comme le 40 m européen E-ELT et le JWST, le prochain grand télescope infrarouge spatial de la NASA. SPECULOOS-Sud est actuellement l'équipement principal du projet mais un autre observatoire est en construction dans l'hémisphère nord, sur le site de l'observatoire du Pic du Teide à Tenerife.

Pour se trouver dans la zone habitable de telles étoiles, ces planètes doivent avoir des orbites très serrées, avec des périodes de l'ordre de la semaine. Les transits se succèdent rapidement, alors que dans le cas d'étoiles de type solaire, les périodes sont de l'ordre de l'année, comme pour la Terre. Le suivi peut donc être plus court et la détection faite plus rapidement. Chaque étoile est observée de manière continue durant 10 à 25 nuits, ce qui donne une probabilité de 70% de détecter une planète dans la zone habitable (si une planète est bien sûr présente et transite devant son étoile). Statistiquement, l'inclinaison des orbites devrait permettre la détection du transit de planètes situées en zone habitable pour une quinzaine d'étoiles et encore plus pour des planètes plus proches, et l'observation des mille étoiles sélectionnées devrait être terminée en 10 ans environ.

SPECULOOS s'inscrit dans la continuité du projet TRAPPIST³, opérant depuis les observatoires de La Silla au Chili et de l'Oukaimeden au Maroc. C'est le télescope TRAPPIST-sud, opérationnel depuis 2011, qui a permis la détection de TRAPPIST-1. Lorsqu'une planète passe devant son étoile hôte, elle masque une partie de la lumière de cette dernière – ce qui se traduit généralement

par une petite éclipse partielle, et donc la diminution de luminosité de l'étoile – une variation très faible mais détectable. Les exoplanètes en orbite autour d'étoiles de petites dimensions masquent une plus grande partie de la lumière stellaire au cours d'un transit, ce qui rend ces éclipses périodiques beaucoup plus faciles à détecter que celles associées à des étoiles plus grosses. Le transit d'une planète de la taille de la Terre se signale par une diminution d'éclat de 1% devant ce type d'étoile, ce qui est 100 fois plus que le transit d'une planète analogue devant une étoile comme le Soleil.

À ce jour, seule une petite fraction des exoplanètes détectées au moyen de cette méthode ont une taille inférieure ou égale à celle de la Terre. Les petites dimensions des étoiles cibles de SPECULOOS, combinées à la sensibilité élevée de ces télescopes dans l'infrarouge proche, vont permettre la détection de planètes de type Terre et même de type Mars situées dans la zone habitable de leur étoile. Ces planètes feront ensuite l'objet d'observations détaillées au moyen des grands télescopes futurs au sol ou dans l'espace.

SPECULOOS Sud est un observatoire piloté à distance et composé de quatre télescopes ayant des miroirs primaires de 1 m de diamètre et ouverts à F/2,3. Les miroirs secondaires font 28 cm de diamètre et l'ouverture finale est de F/8. Ces magnifiques télescopes de type Ritchey-Chrétien ont été construits par la compagnie allemande ASTELCO⁴. Ils sont compacts et légers, faits d'acier, d'aluminium et de fibre de carbone. Leurs montures, de type équatoriale allemande, ont été faites sur mesure et ont une inclinaison particulière qui permet d'éviter le retournement au méridien pour ne pas interrompre les longues séries photométriques. Ces montures sont équipées de moteurs linéaires très puissants, ce qui permet des déplacements rapides de 20° par seconde avec une précision de pointage de 3 secondes d'arc, et un suivi très précis à mieux qu'une seconde d'arc en dix minutes en l'absence d'auto-guidage. Malgré ces remarquables caractéristiques, pour assurer un suivi encore

2 <http://www.trappist.one/>
3 <http://www.trappist.uliege.be/>

4 <http://www.astelco.com/>





*Photo aérienne de l'observatoire de Paranal. Le VLT est sur le sommet, en bas à gauche. À sa droite le camp de base. La route qui part vers la gauche du VLT mène au télescope VISTA. L'embranchement de droite conduit aux télescopes SPECULOOS-Sud.
(ESO)*



Io, Europa, Ganymède et Callisto, les quatre télescopes de l'observatoire SPECULOOS Sud (de droite à gauche) avec Paranal et le VLT en arrière plan. (P. Aniol/ASTELCO)

plus précis et garder les étoiles cibles sur les mêmes pixels en vue d'obtenir la meilleure photométrie possible, on utilise un algorithme d'auto-guidage qui, par corrélation avec des images de référence, permet une précision de l'ordre de 0,15", reproductible sur chaque image et de nuit en nuit.

Chaque télescope est abrité dans une coupole de 6,25 m de diamètre asservie à son mouvement et flanquée d'une petite salle de contrôle qui permet d'héberger les ordinateurs et de pouvoir réaliser les tests et observations sur place lors des missions techniques. Ces belles coupoles sont d'origine italienne et ont été fabriquées près de Venise par la compagnie Gambatto.

Les télescopes qui ont chacun une couleur bien particulière ont été baptisés Io, Europa, Ganymède et Callisto en référence aux

quatre satellites galiléens de Jupiter. Ils bénéficient d'excellentes conditions d'observation depuis le site de Paranal, qui abrite également le fleuron de l'ESO, le Very Large Telescope (VLT) avec ses 4 télescopes de 8 m de diamètre. Avec environ 300 nuits claires par an, un climat aride (en moyenne 10% d'humidité) et stable, et un très bon « seeing » (mesure de la turbulence atmosphérique), Paranal constituait le site idéal pour installer l'observatoire, d'autant plus que toute la logistique nécessaire était déjà en place.

Le premier télescope à avoir été installé est Europa, en mars 2017 et le dernier Ganymède, en octobre 2018. Pour chaque télescope une première phase de tests s'est déroulée en usine à Munich et puis sur le ciel pendant plusieurs nuits, sur le parking derrière les ateliers, où une coupole avait été installée. Le but : vérifier les performances des télescopes (optique et monture), des coupoles et faire les premiers réglages du matériel et des logiciels avant l'envoi par bateau de tout l'en-



*Vue aérienne de SPECULOOS-Sud.
(tau-tec GmbH)*

Quelques phases de l'installation de Ganymede dans sa coupole. (E. Jehin)







semble au Chili. Ensuite pour chaque télescope une mission sur place d'un mois environ avec plusieurs équipes d'astronomes, d'ingénieurs et de techniciens, a été nécessaire pour installer et tester tout le matériel, les ordinateurs etc. Comme le veut la tradition chaque installation se termine par une « First Light », c'est-à-dire la prise des premières images par le télescope réglé, un moment de joie où on se fait plaisir aussi en observant quelques bijoux célestes.

S'appuyant sur l'expérience et le schéma opérationnel des télescopes TRAPPIST, SPECULOOS Sud est presque entièrement robotisé et est contrôlé à distance via une connexion sécurisée au réseau privé virtuel (VPN) entre Paranal et l'université de Liège. D'un simple « clic » de souris on peut prendre le contrôle du télescope situé à 13 000 km à vol d'oiseau en toute sécurité. Les plans d'observation pour la nuit, composés de simples



*La Voie lactée s'arque au-dessus de l'observatoire SPECULOOS Sud. Le Grand Nuage de Magellan est à droite de Io.
(P. Aniol/ASTELCO)*

fichiers texte (un pour chaque cible) et liés les uns aux autres, sont automatiquement générés et soumis quotidiennement par un script de planification au logiciel de contrôle de l'observatoire (ACP Expert)⁵ qui est installé sur l'ordinateur de contrôle de chaque télescope. ACP est le principal logiciel d'automatisation fonctionnant en association avec les différents

sous-systèmes. Il gère automatiquement tous les aspects des observations : procédures de démarrage et d'arrêt, pointage et centrage des cibles, mise au point automatique, gestion de la roue à filtres, séquences d'acquisition des images, auto-guidage, chaînage de cibles et autres opérations.

5 <http://acp.dc3.com/>



*La première image du télescope Europa fut réservée à la galaxie M83, dans l'Hydre femelle.
(E. Jehin/ESO/SPECULOOS Team)*

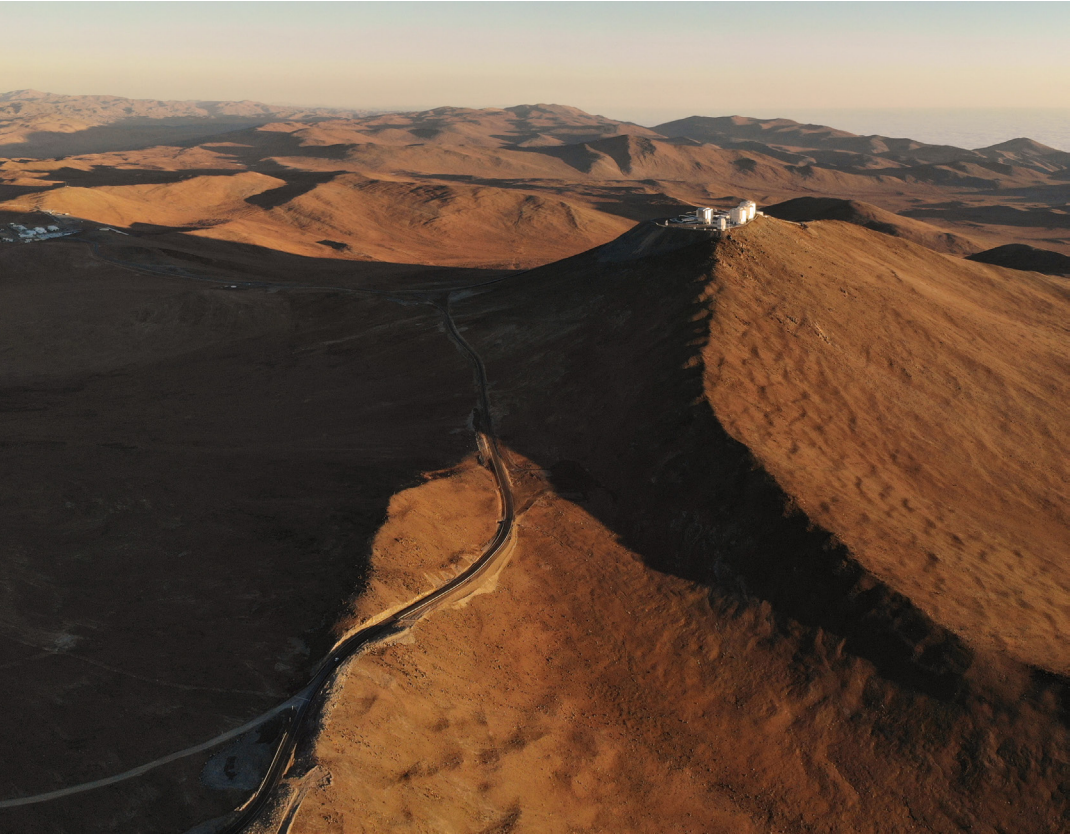


*Première image du télescope Callisto, la célèbre nébuleuse de la Tête de Cheval.
(E. Jehin/ESO/SPECULOOS Team)*



ACP est également responsable de la fermeture automatique de l'observatoire en cas de mauvais temps ce qui est vital pour un observatoire robotique où habituellement personne ne surveille en direct les observations. Chaque télescope est indépendant et doté de sa propre station météorologique, qui surveille en temps réel la couverture nuageuse (via la température IR du ciel), la vitesse du vent (≤ 50 km/h), le niveau d'humidité ($\leq 80\%$), le point de rosée et la quantité de lumière du jour. Ces stations météorologiques incluent également un capteur d'humidité capable de détecter la pluie et la neige, bien que cela soit extrêmement rare à Paranal. Ils sont connectés

aux PC et peuvent déclencher automatiquement l'arrêt des observations (fermeture du dôme et stationnement du télescope) en cas de mauvais temps. Plusieurs prises d'alimentation IP sont connectées à tous les dispositifs électriques à l'intérieur des dômes pour permettre leur redémarrage à distance (ou leur arrêt) si nécessaire. Chaque unité d'observation est également équipée d'un système d'alimentation sans coupure (UPS) pouvant maintenir chaque télescope en fonctionnement pendant environ 8 heures. Pour garantir des opérations sûres et optimales, un opérateur initie la procédure de démarrage des observations avant le crépuscule en s'assurant que les conditions



Les ombres s'allongent sur l'observatoire de Paranal à l'approche de la nuit.. À gauche, SPECULOOS-Sud. À droite, sur le sommet, le VLT. (ESO)

météorologiques sont optimales et les télescopes en sécurité et en état de fonctionner après avoir effectué des contrôles de routine. À la fin de la nuit, l'opérateur s'assure que les télescopes sont fermés et sécurisés et les différentes calibrations obtenues. Une page Web dite « opérationnelle » reçoit des informations en direct sur les télescopes et sur l'état de la météo, ainsi que des images en temps réel des webcams, du ciel via une caméra de type « allsky » et des dômes. Cette configuration permet de garder facilement et à tout moment un œil sur l'observatoire bien qu'il soit distant de 13 000 km à vol d'oiseau !

En plus des deux télescopes TRAPPIST de 60 centimètres de diamètre, le projet inclura également le télescope SAINT-Ex, en cours d'installation à l'observatoire de San Pedro Mártir au Mexique et de SPECULOOS-Nord qui sera installé à l'observatoire du Pic de Teide et qui devrait inclure plusieurs télescopes également. C'est donc un important réseau de télescopes qui s'est mis en place pour la traque de ces planètes terrestres dans la zone habitable.

La découverte de TRAPPIST-1

SPECULOOS a commencé en 2011 sous la forme d'un projet pilote sur le télescope TRAPPIST-Sud, avec une liste limitée composée des 50 étoiles les plus brillantes de type ultra-froide visibles depuis l'hémisphère sud. Le but était d'évaluer la faisabilité du projet, mais il a en réalité débouché sur bien plus que cela.

Après 6 années de recherche, un système planétaire spectaculaire aujourd'hui appelé TRAPPIST-1 a été découvert. Il est composé au total de sept planètes de la taille de la Terre situées sur des orbites tempérées allant de 1,5 à 19 jours. De plus trois de ces planètes sont en orbite dans la zone dite habitable de l'étoile (où l'eau pourrait exister sous forme liquide) et toutes ces planètes sont particulièrement bien adaptées à une étude atmosphérique détaillée avec le JWST qui sera lancé par la NASA et l'ESA en 2021. Grâce à la configuration de résonance et de l'alignement du système avec la Terre qui permet l'observation des transits, les masses et les rayons des planètes ont pu être mesurés avec précision. Les densités résultantes suggèrent que la plupart de ces planètes ont une composition rocheuse avec un contenu d'éléments légers considérablement plus important que la Terre. La détection de TRAPPIST-1 après l'observation d'une cinquantaine de cibles seulement et les faibles densités apparentes de la plupart de ces planètes suggèrent que des systèmes



(ESO)

compacts de planètes rocheuses riches en eau pourraient être très fréquents autour des étoiles de type naine ultra-froide, en accord avec les prédictions théoriques récentes. Si cela se confirme, cela implique que SPECULOOS trouvera de nombreux autres systèmes semblables à TRAPPIST-1 et produira un catalogue de plusieurs dizaines de planètes rocheuses tempérées bien adaptées à la caractérisation atmosphérique détaillée via la prochaine génération des grands télescopes terrestres et spatiaux.