

L'astronomie dans le monde

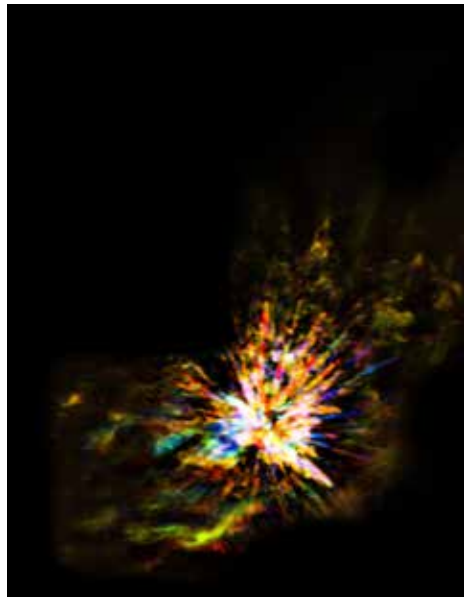
OMC-1

Basé sur un communiqué ESO

Distant de 1 350 années-lumière, le site de formation stellaire du Nuage Moléculaire d'Orion-1 (OMC-1) faisant partie intégrante du même complexe que la célèbre Nébuleuse d'Orion. OMC-1 se montre particulièrement dense et actif. Il est si dense que les étoiles qui y naissent entrent parfois en collision. Un tel événement semble avoir eu lieu il y a quelque 500 ans. On ne sait pas s'il s'agissait d'une véritable collision ou d'un frôlement ayant entraîné un processus d'accrétion. Quoi qu'il en soit, cela a provoqué une puissante éruption qui a propulsé d'autres protoétoiles situées à proximité et expulsé de colossaux jets de gaz et de poussière à plus de 150 kilomètres par seconde. Cette interaction cataclysmique a libéré autant d'énergie que le Soleil en émet durant 10 millions d'années.

La nature explosive des débris qui parsèment OMC-1 fut suspectée dès 2009, après que des observations eurent été effectuées avec le Réseau Submillimétrique d'Hawaii. Cet objet fut aussi observé dans le proche infrarouge grâce au télescope Gemini South implanté au Chili qui mit en évidence la remarquable structure des jets de matière, qui s'étendent sur près d'une année-lumière.

Les astronomes ont maintenant utilisé le vaste réseau (Sub-)Millimétrique de l'Atacama (ALMA) pour sonder le cœur du nuage. Ils y ont découvert les débris éjectés lors de la naissance explosive de



Le célèbre amas d'étoiles jeunes et chaudes du Trapèze vu par ALMA. Les « fausses » couleurs reflètent le décalage Doppler de la lumière émise par le monoxyde de carbone. En bleu figure le gaz s'approchant de la Terre aux vitesses les plus élevées ; en rouge le gaz se déplaçant dans notre direction à des vitesses moindres. (ALMA/ESO/NAOJ/NRAO, J. Bally/H. Drass et al.)



l'amas d'étoiles massives. Les nouvelles images obtenues en haute résolution révèlent de précieuses informations relatives à la distribution ainsi qu'au déplacement rapide du monoxyde de carbone (CO) à l'intérieur des jets. Ces données permettront aux astronomes de mieux comprendre l'origine de la puissance de l'explosion, ainsi que l'impact de tels événements sur la formation stellaire au sein de la galaxie.

Les vestiges observés par ALMA ne survivront que quelques siècles. Bien qu'éphémères, ces explosions protostellaires sont peut-être relativement fréquentes. En détruisant leur nuage parent, ces événements peuvent contribuer à réguler le taux de formation stellaire dans les immenses nuages moléculaires.

Le cœur de la nébuleuse d'Orion. Image composite montrant au centre l'image obtenue avec ALMA. L'image de fond se compose de clichés acquis dans le domaine optique ainsi que dans le

proche infrarouge par les télescopes Gemini South et VLT.

(ALMA/ESO/NAOJ/NRAO, J. Bally/H. Drass et al.)

LHS 1140b

Basé sur un communiqué de presse ESO

Une exoplanète en orbite autour d'une étoile de type naine rouge située à 40 années-lumière de la Terre pourrait bien remporter à son tour le titre de « meilleure candidate pour la recherche de traces de vie au-delà du Système solaire ».

Cette super-Terre nouvellement découverte décrit son orbite dans la zone dite « habitable » de la naine rouge LHS 1140 située dans la constellation de la Baleine. Les naines rouges sont beaucoup plus petites et bien plus froides que le Soleil. Bien que la distance séparant LHS 1140b de son étoile soit dix fois inférieure à la distance Terre-Soleil, LHS 1140b ne reçoit que la moitié de l'ensoleillement terrestre et occupe le centre de la zone habitable. Son orbite nous apparaît de profil et tous les 25 jours la planète passe (« transite ») devant l'étoile, bloquant une fraction de la lumière qui nous en parvient.

Il est probable que la planète n'a pénétré la zone habitable que quarante millions d'années après la naissance de la naine rouge. Au cours de cette phase, l'exoplanète a été soumise à l'activité et au passé volatils de son étoile hôte. Une jeune naine rouge peut aisément

éjecter l'eau contenue dans l'atmosphère d'une planète en formation, générant ainsi un effet de serre semblable à celui se produisant sur Vénus. Comme LHS 1140 est animée d'une rotation plus lente et émet un rayonnement moins énergétique que la plupart des autres étoiles semblables de faible masse, la planète en est certainement moins affectée.

La vie telle que nous la connaissons exige la présence d'eau liquide en surface ainsi que l'existence d'une atmosphère planétaire. Dans le cas présent, la planète est suffisamment grosse pour qu'un océan de magma ait pu couvrir sa surface des millions d'années durant. Cet océan de lave en fusion a pu enrichir l'atmosphère en vapeur qui, après le retour au calme de l'étoile, se serait condensée en eau liquide à la surface de la planète.

La découverte est due à l'instrument Mearth, qui a détecté le tout premier transit. Ensuite l'instrument HARPS de l'ESO – ce chercheur de planètes d'une grande précision au moyen de la méthode des vitesses radiales – a effectué les observations de suivi nécessaires pour confirmer l'existence de la super-Terre. HARPS a également contribué à déterminer la période orbitale ainsi que la masse et la densité de l'exoplanète.

Les astronomes estiment l'âge de la planète à environ cinq milliards d'années et son diamètre à 1,4 fois celui de la Terre. Sa masse étant sept fois supérieure à celle de la Terre et sa densité beaucoup plus élevée, il s'ensuit que la planète est certainement constituée de roches et dotée d'un noyau de fer particulièrement dense.



Vue d'artiste du système LH1140. (ESO/spaceengine.org)

Cette super-Terre pourrait être la meilleure cible de futures observations destinées à étudier et caractériser son atmosphère, si elle existe. Le système LHS 1140 pourrait s'avérer plus prometteur que Proxima b ou TRAPPIST-1 pour la caractérisation de planètes situées en zone habitable. La planète qui entoure Proxima b est encore bien plus proche de la Terre mais elle ne transite probablement pas devant son étoile, rendant ainsi plus difficile la détection de son éventuelle atmosphère (cf. p. 363).

À la différence du système TRAPPIST-1, aucune autre exoplanète n'a été détectée autour de LHS 1140. Les systèmes multi-planétaires sont pourtant censés être légion autour des naines rouges. Il est possible que la petitesse de leur taille ait empêché la découverte d'autres exoplanètes autour de LHS 1140.

Comète 67P/Churyumov-Gerasimenko

Basé sur un communiqué CNRS/INSU

Le chauffage produit par la désintégration d'isotopes de l'aluminium et du fer dans la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko aurait été trop important au début de la vie de la nébuleuse protosolaire pour expliquer l'abondance de certains matériaux. En effet, la présence du monoxyde de carbone, de l'azote ou de l'argon, mise en évidence dans 67P/Churyumov-Gerasimenko par la mission Rosetta, n'est possible que si la comète s'est formée après 2 à 8 millions d'années d'évolution de la nébuleuse. Il faut en effet que celle-ci se refroidisse suffisamment et permette à la comète de se former, tout en gardant les matériaux les plus volatils. L'autre possibilité est que la comète se soit formée lentement sur tout cet intervalle de temps, lui permettant aussi de préserver une grande partie des glaces qu'elle a puisées dans la nébuleuse.

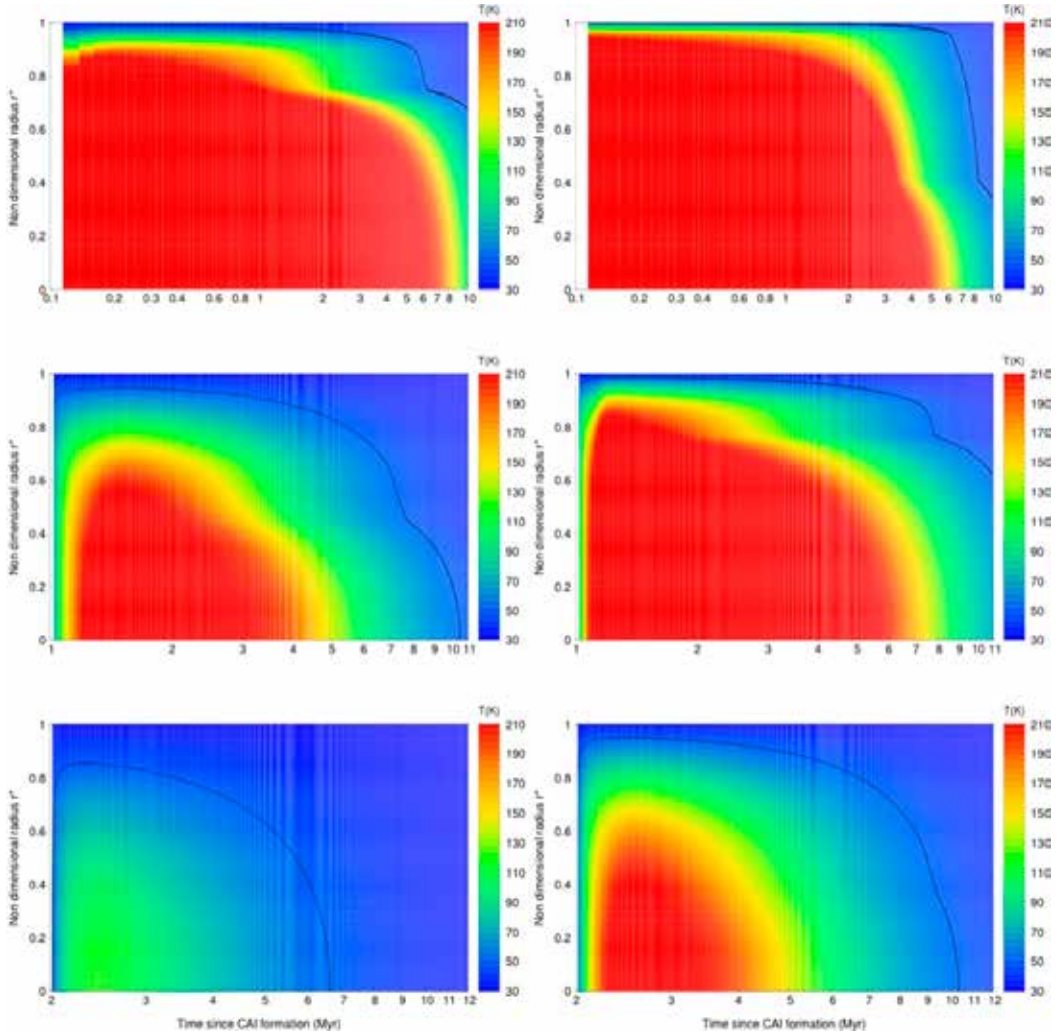
Les conditions de formation des comètes restent assez mystérieuses. Ces objets se sont agglomérés soit à partir de blocs de constructions directement formés dans la nébuleuse

protosolaire, soit à partir des débris provenant de la destruction de plus gros corps parents. Les scientifiques ont simulé l'influence du chauffage radiogénique sur la structure et la composition de corps glacés de tailles comprises entre celles des lobes de 67P/Churyumov-Gerasimenko (~2.6 km) et de la comète Hale-Bopp (~70 km), en utilisant les abondances canoniques de l'aluminium 26 et du fer 60, les deux nucléides dont la désintégration est considérée comme une source de chaleur importante pour les corps planétaires formés au tout début de l'histoire du Système solaire.

L'étude indique qu'il est à la fois impossible de former rapidement 67P/Churyumov-Gerasimenko, ou bien son corps parent, et de préserver les espèces volatiles observées dans la coma par la mission Rosetta. Les simulations attestent que si la croissance a été très rapide, la comète ou son corps parent ont dû se former entre 2,2 et 7,7 millions d'années après l'apparition de la nébuleuse protosolaire. Par contre, si la comète ou son corps parent se sont accrétés lentement, mais toujours sur le même intervalle de temps, alors ils ont pu préserver la majorité de leurs espèces volatiles.

Des délais plus courts de formation ou d'accrétion, compris entre 0,5 et 6,7 millions d'années après la formation de la nébuleuse, sont envisageables si l'on admet que l'intérieur profond de la comète ou de son parent a été appauvri en espèces volatiles par le chauffage radiogénique, et que les couches externes sont restées riches en glaces. Cependant, si 67P/Churyumov-Gerasimenko s'est formée à partir de morceaux issus d'un tel astre, ceux-ci constitueraient probablement un mélange homogène et il serait impossible de savoir s'ils proviennent des couches internes ou externes de l'objet primitif.

La question de l'origine et des conditions de formation des blocs de construction de 67P/Churyumov-Gerasimenko demeure donc encore indécise. Une mission de retour d'échantillons d'une autre comète de la famille de Jupiter sera probablement nécessaire pour apporter de nouvelles réponses.



Évolution temporelle du profil de température dans un petit corps possédant une taille de 2,6 km et constitué d'un mélange de poussières réfractaires et de glaces cristallines, avec des retards différents de formation de 0,1 et 2 millions d'années après l'apparition de la nébuleuse protosolaire. Les colonnes de gauche et de droite correspondent respectivement à des rapports de mélanges poussières/glaces valant 1 et 4 dans la comète. La courbe noire correspond à l'isotherme identifiant la frontière entre les régions de stabilité et d'instabilité des glaces les plus volatiles. À une époque donnée, la comète chauffe plus lorsqu'elle est enrichie en poussières réfractaires (colonne de droite). En outre, la température globale du noyau diminue lorsque l'accrétion est tardive. (Mousis et al. 2017)

Atmosphères

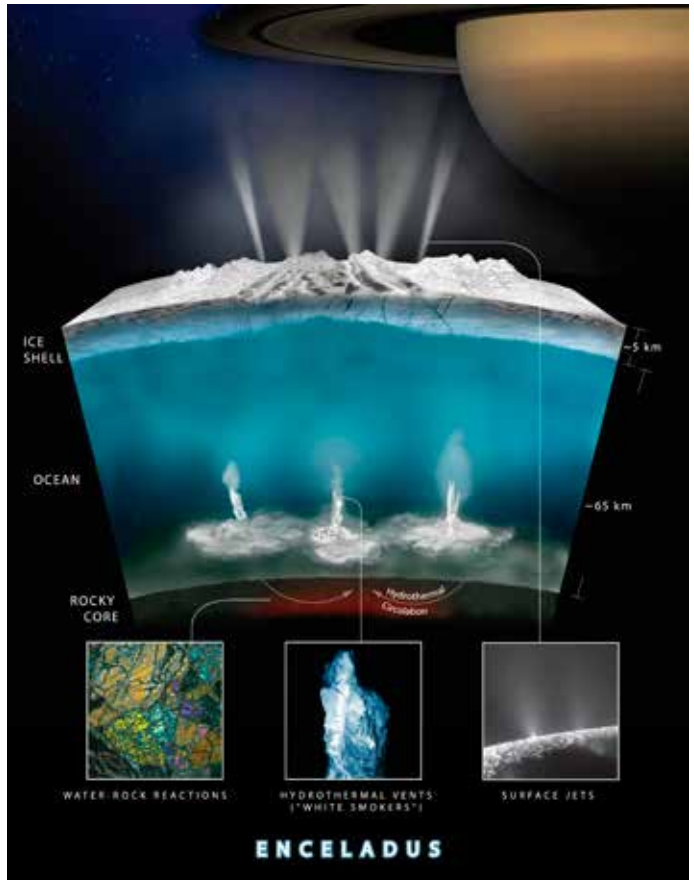
Trouver des planètes est une chose, évaluer les possibilités de vie qu'elles offrent en est une autre. Le concept de zone habitable donne une première indication en permettant de sélectionner les planètes susceptibles d'avoir de l'eau liquide à leur surface. L'idéal serait pourtant de distinguer leur atmosphère éventuelle et d'en étudier le spectre ce qui montrerait de façon plus claire si les conditions y sont favorables. Une composition particulière pourrait même indiquer que la vie y est effectivement présente. Ainsi la présence de méthane dans l'atmosphère de Mars avait suscité des espoirs, mais l'origine de ce gaz n'est pas nécessairement biologique. L'oxygène peut aussi bien provenir de la décomposition d'eau par le rayonnement que d'une activité biologique. Il faut certainement des critères plus robustes comme une combinaison particulière d'eau, de méthane, d'oxygène et de gaz carbonique.

Les gaz s'échappant de l'intérieur d'une petite planète ou d'une lune, incapables de les retenir en une véritable atmosphère, peuvent aussi nous renseigner sur les conditions régnant sous la surface. C'est le cas des satellites de Jupiter et Saturne, Europe et Encelade. On commence ainsi à tenter de caractériser les océans souterrains de satellites des grosses planètes. Récemment, la découverte d'hydrogène dans les vapeurs

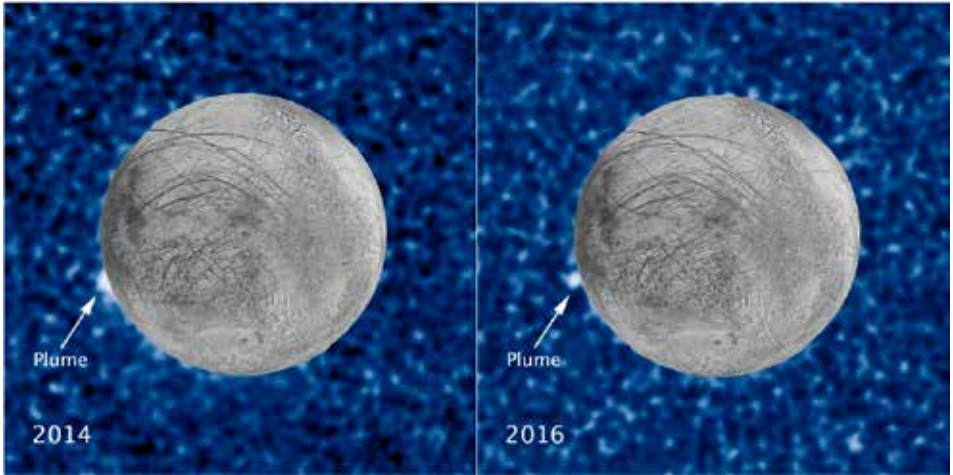
émises par Encelade a permis de soulever l'hypothèse de processus hydrothermaux au fond de l'océan, et d'imaginer des conditions propices à la vie, un peu comme au fond de nos océans.

Il est clair que l'observation de geysers est, dans l'état actuel de la technique, réservée à notre Système solaire. Au-delà, il faut se contenter de s'attaquer aux vraies atmosphères.

Mais avant d'en arriver à ce stade avec les exoplanètes, la première étape est de trouver des astres assez semblables à la Terre et entourés d'une atmosphère. La méthode la plus directe fait à nouveau appel aux transits. En passant devant une étoile, la planète offre aux

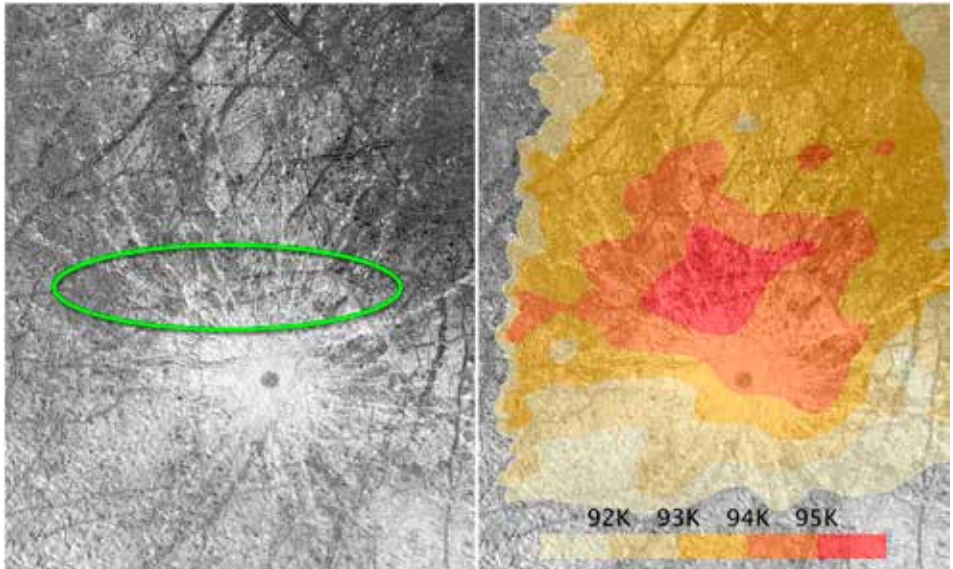


Comment l'interaction de l'eau avec le fond de l'océan d'Encelade pourrait produire de l'hydrogène.
(NASA/JPL-Caltech)



Europe, un satellite galiléen de Jupiter, semble montrer un nuage d'éjecta intermittent provenant d'une région qui avait été reconnue comme particulièrement chaude par la sonde Galileo. Il pourrait s'agir de l'expulsion d'eau provenant de l'océan hypothétique que l'on imagine sous la croûte gelée d'Europe. Ce nuage a été photographié en silhouette par le télescope spatial Hubble lorsque le satellite transitait devant Jupiter. L'image ajoutée du disque d'Europe provient de Galileo.

La zone d'où émanent les vapeurs est marquée par l'ovale vert dans l'image de gauche ci-dessous prise par Galileo. On la retrouve sur la carte thermique de droite, le rouge dénotant la température la plus élevée. La tache sombre apparaissant dans les deux images est un cratère qui ne semble pas lié aux éjections.
(NASA, ESA, W. Sparks/STScI, USGS Astrogeology Science Center)



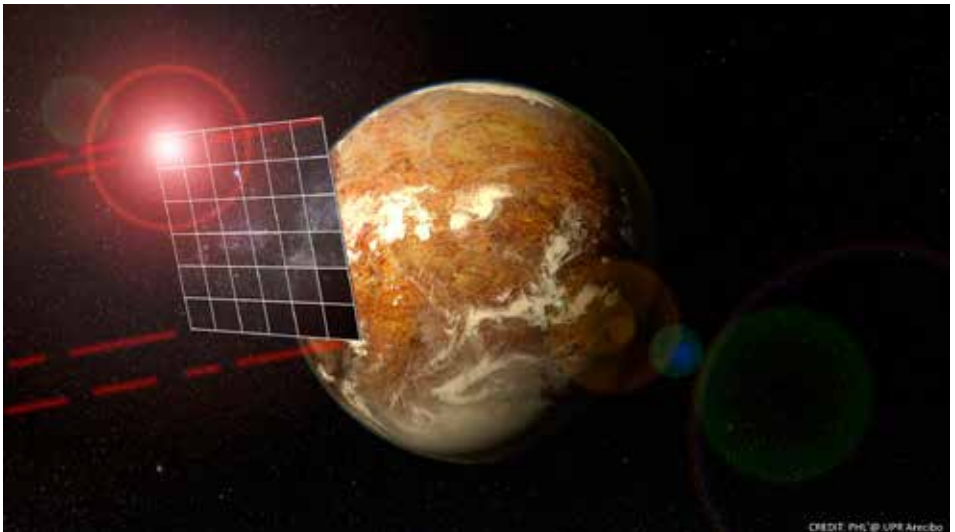
astronomes la possibilité de mesurer le spectre de transmission d'une atmosphère éventuelle.

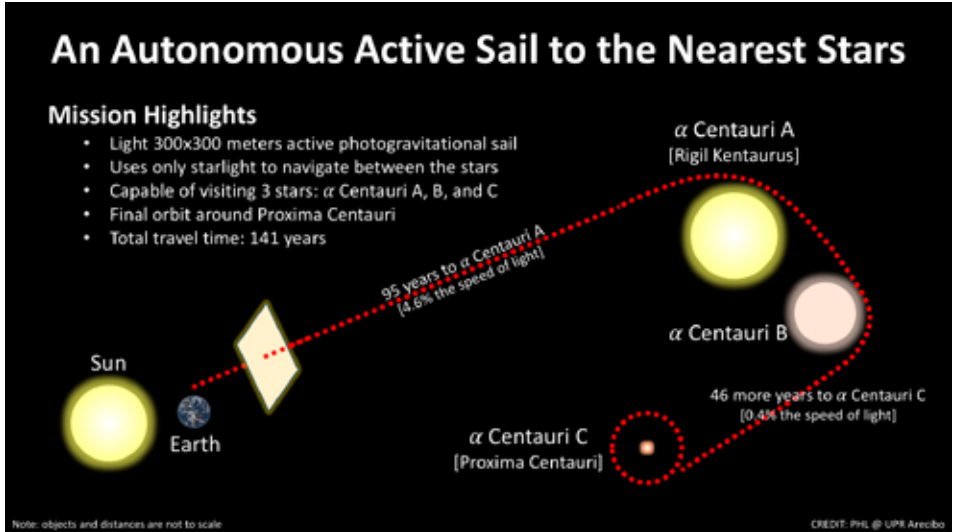
Jusqu'à présent cette technique a révélé des atmosphères autour de planètes géantes, très proches de leur étoile et donc très chaudes. La zone tempérée, habitable, est assez loin de l'étoile, ce qui fait que la probabilité de transit est faible sauf pour de petites étoiles, faiblement lumineuses. Ces étoiles, grâce à leur petit diamètre, ont en outre l'avantage de montrer facilement les transits de planètes de dimensions terrestres. Ils sont nettement plus marqués et beaucoup plus nombreux. Le spectre d'une atmosphère se distinguerait aussi beaucoup mieux dans celui de l'étoile.

Les candidates pour de telles observations commencent à être présentées. La plus proche, à 1,3 parsec seulement, est la planète récemment découverte autour de Proxima du Centaure. Il semble malheureusement qu'elle ne produise pas de transit. Il aurait d'ailleurs fallu un formidable hasard pour que nous nous trouvions exactement dans le plan du système planétaire le plus proche de nous. Proxima b a été révélée par des mesures de vitesse radiale, mais on n'a pas encore observé dans les courbes de lumière l'accident caractéristique marquant le passage d'une planète devant l'étoile. La distance de quatre

années-lumière n'a pas rebuté certains qui ont proposé d'envoyer des missions spatiales pour aller voir sur place ce qu'il s'y passe. C'est *a priori* plus intéressant que d'observer de loin. L'ennui est que ces missions prendraient beaucoup de temps, des dizaines voire des centaines d'années, et les sondes doivent être très petites pour pouvoir atteindre de très grandes vitesses. Dans le projet le plus court, les sondes seraient animées par des faisceaux laser tirés depuis le Système solaire. Elles ne feraient que passer à une vitesse vertigineuse dans le système de Proxima. Difficile d'envisager une étude sérieuse avec de tels moyens. Le projet le plus long verrait des sondes de moins de 100 grammes propulsées par les photons du Soleil grâce à des voiles de 100 000 mètres carrés. Elles resteraient plus longtemps dans

Le projet AAS (Autonomous Active Sail) vers Proxima Centauri b envisage une voile poussée par les rayons du Soleil. Dans cette vision artistique, des lasers situés aux quatre coins transmettent des informations vers la Terre. Les panneaux du bas de la voile commencent à s'assombrir afin de modifier la poussée de radiation et de changer de trajectoire à l'approche de la planète. (PHL @ UPR Arcibo)





*Schéma de la mission hypothétique AAS.
(PHL @ UPR Arcibo)*

le système de Proxima et pourraient même récolter des échantillons d'atmosphère pour les ramener sur Terre. On peut douter du réalisme de tels projets. Comment apparaîtront-ils dans quelques siècles ?

Une dizaine de fois plus loin de nous, à une douzaine de parsecs, il y a bien sûr les planètes Trappist, et aussi LHS1140b. Ce sont actuellement les astres les plus prometteurs pour la recherche d'atmosphère. Les données concernant LHS1140b (cf. p. 358) indiquent que sa gravité est suffisante pour lui avoir permis de conserver une atmosphère pendant la jeunesse de l'étoile, lorsque celle-ci avait une luminosité plus forte qu'actuellement. La tâche de caractériser ces atmosphères reviendra sans doute aux futurs télescopes géants au sol, ou dans l'espace.

Beaucoup des exoplanètes découvertes à ce jour sont des géantes du type de Jupiter. Elles semblent totalement impropres à la présence de vie même dans la zone habitable du système, mais on peut se poser la question de l'habitabilité de leurs satellites. Ceux-ci pourraient être assez nombreux si l'on pense aux cortèges qui accompagnent Jupiter ou Saturne. Peut-être seraient-ils aussi arides que notre

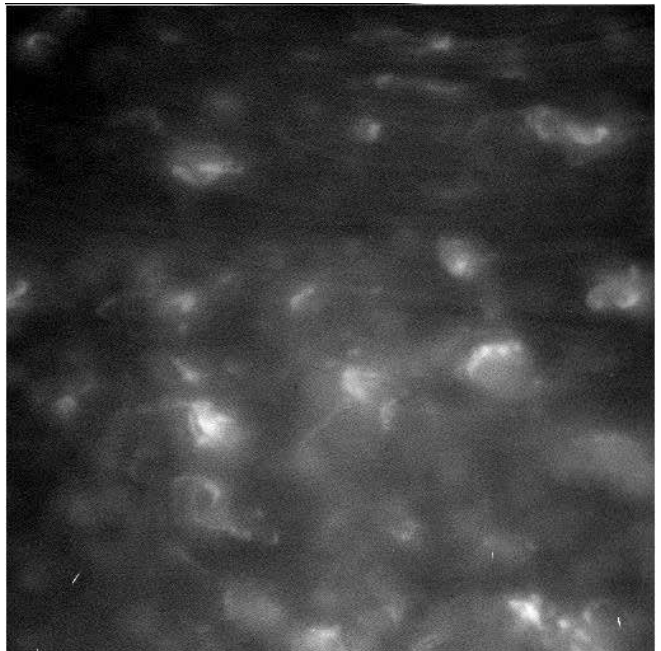
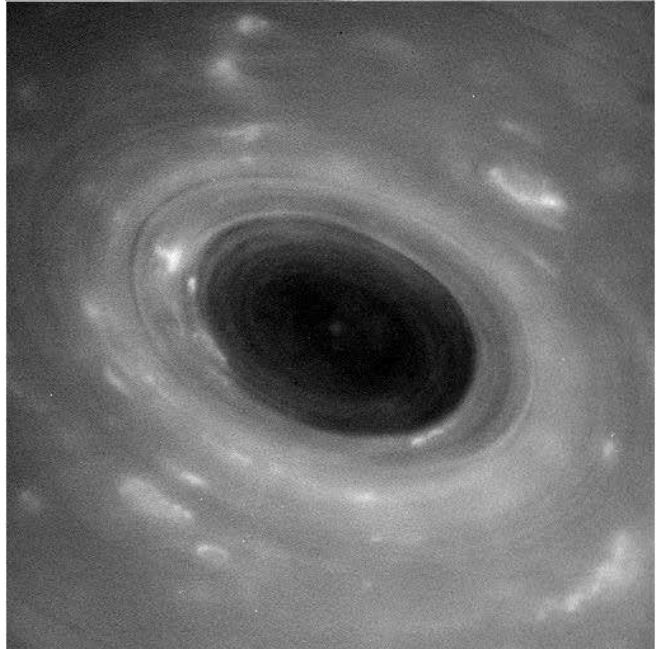
Lune mais un nouveau modèle de formation et de migration des planètes géantes suggère qu'il n'en est pas nécessairement ainsi. Les planètes géantes se forment loin des étoiles, là où abondent les éléments volatils comme l'eau. Leurs satellites sont également composés en grande partie de glace. Les interactions gravifiques entraînent progressivement les grosses planètes vers l'étoile. Leurs satellites dégagent alors une atmosphère qui pourrait leur rester jusqu'à l'entrée dans la zone habitable si leur gravité est suffisante. Les planètes géantes pourraient ainsi offrir des possibilités de vie sur leur satellites. L'analyse de l'atmosphère de ces satellites est encore plus délicate que celle de vraies planètes car l'observation est perturbée non seulement par l'étoile centrale, mais aussi par la planète.

Au total, il s'avère que les planètes proches des naines rouges sont de loin les plus accessibles à ce type d'analyse. Établir l'habitabilité d'une sœur de la Terre autour d'une étoile de type solaire est un défi bien plus considérable.

Cassini (suite)

La sonde Cassini a entamé le 26 avril sa série de 22 rase-mottes sous les anneaux de Saturne (cf. *Le Ciel*, janvier 2017, 32 et février 2017, 104). Un peu inquiets de la sécurité de l'engin spatial, les techniciens ont constaté avec autant de satisfaction que de surprise qu'il n'avait rencontré quasiment aucune particule dans cette zone de 2 000 kilomètres séparant l'atmosphère des anneaux.

Par mesure de précaution l'antenne principale de 4 mètres avait été dirigée vers l'avant comme un bouclier. Seuls deux appareils dépassaient de la zone de protection, le magnétomètre et le détecteur RPWS (Radio and Plasma Wave Science). C'est ce dernier qui permet de compter quelques rares impacts dus à des particules de la taille d'un micron. La rareté de ces poussières est une information utile qui doit permettre aux astronomes



Ci-contre, et à la page suivante, trois vues rapprochées de Saturne prises le 26 avril. En haut, le vortex du pôle nord. (NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute/Hampton University)

de mieux comprendre l'origine des anneaux. Elle libère aussi les ingénieurs de la contrainte d'utiliser l'antenne comme bouclier. Ils peuvent désormais orienter Cassini comme ils le désirent et utiliser tous ses instruments de façon optimale. En particulier, le CDA (Cosmic Dust Analyzer) peut analyser les particules récoltées, ce qui pourrait donner des indications sur l'âge des anneaux.

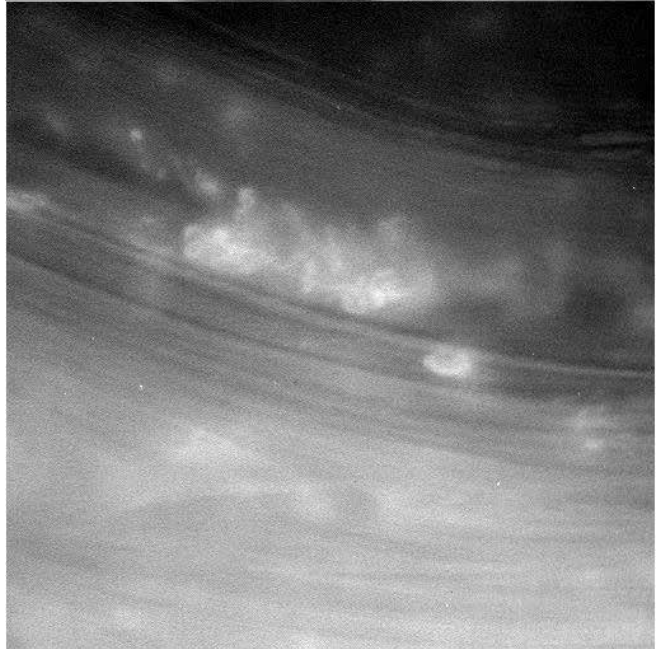
Cassini prend maintenant des images et étudie la haute atmosphère de Saturne avec une résolution inégalée. Sa proximité de la planète permet d'en analyser le champ de gravité avec grande précision. Des mesures radio lors d'occultations par les anneaux permettront de déduire la masse de ceux-ci. La trajectoire variant d'un passage à l'autre, on pourra déceler d'éventuelles inhomogénéités dans la région sub-annulaire, certains endroits pouvant être plus chargés en poussières.

Finalement, le radar à synthèse d'ouverture qui a cartographié les mers de méthane de Titan est utilisé pour balayer les anneaux à une résolution variant de 100 à 4 000 mètres par pixel.

Le sort de Cassini est scellé. Sa trajectoire le conduit inexorablement à entrer dans l'atmosphère de Saturne le 15 septembre, ce qui évitera une possible contamination d'une des lunes si on le laissait en orbite. Cette ultime phase de l'odyssée donnera des renseignements sur l'atmosphère de Saturne.

Astéroïde 2014 JO25

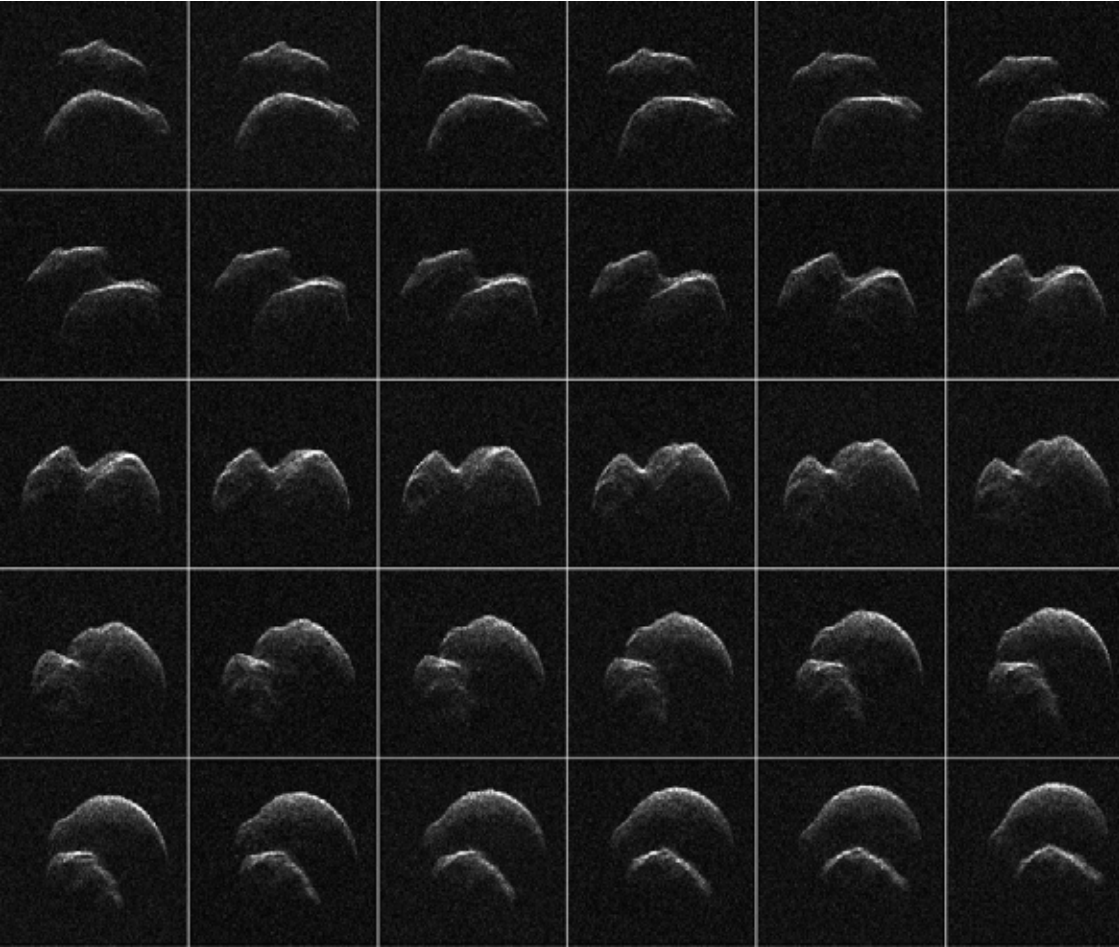
L'astéroïde 2014 JO25 découvert en mai 2014 grâce au Catalina Sky Survey (CSS) est passé le 19 avril à moins de deux millions de kilomètres de nous, soit 4,6 fois la distance de la Lune. C'est la première fois depuis le



passage de Toutatis en 2004 qu'un astéroïde de taille relativement grande nous frôle d'aussi « près ». Toutatis qui fait 5 kilomètres de diamètre était venu à 4 fois la distance de la Terre. 2014 JO25 est nettement plus petit (600 à 1000 mètres), mais même avec cette taille, une collision avec notre planète serait catastrophique.

Des observations radar ont été effectuées à Arecibo et Goldstone à la mi-avril, autour du moment de plus grande proximité. Des centaines d'images ont été obtenues avec une résolution de 7,50 m et quelques-unes avec une résolution de 3,75 m. Elles montrent une forme complexe ressemblant étrangement à celle du noyau de la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko, avec deux lobes connectés par un « cou » relativement étroit. Les images les plus détaillées révèlent des collines, des vallées, des plaines mais aussi de gros rochers et probablement des cratères.

Les séquences d'images indiquent une période de rotation de 4 h ½. La précision des observations radar a permis de calculer la trajectoire future de l'astéroïde avec une grande



Séquence d'images de 2014 JO25 obtenues avec l'antenne de 70 mètres de Goldstone (Californie) le 18 avril, veille de la plus grande approche de l'astéroïde. (NASA/JPL)

fiabilité. On savait déjà qu'il ne passerait plus aussi près de la Terre avant quatre siècles. On a maintenant son orbite détaillée pour des milliers d'années, ce qui est rarement le cas pour les 16 000 astéroïdes géocroiseurs.

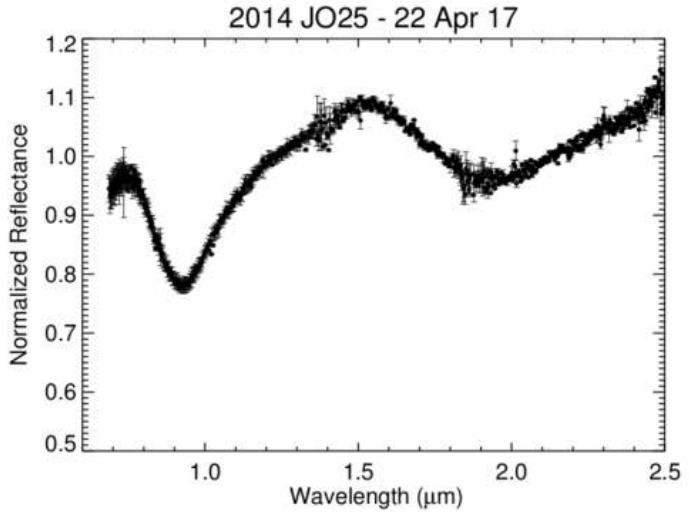
L'albedo radar de 0,2 est compatible avec une composition rocheuse plutôt que métal-

lique. Des observations optiques menées avec le télescope IRTF (Infrared Telescope Facility) de 3 mètres de la NASA à Hawaï confirment cette conclusion en révélant des absorptions à 1 et 2 microns caractéristiques des astéroïdes de type S, rocheux (stony). C'est la même classe que Toutatis, ou Itokawa, l'astéroïde visité par la mission japonaise Hayabusa 1.

La structure bilobée est assez commune puisqu'on la retrouve chez un sur six des géocroiseurs. On la connaît aussi pour plusieurs comètes. La rotation en 4 h ½ est

Le spectrographe SpeX du télescope IRTF a obtenu ce spectre de 2014 JO25. Les deux vallées à 1 et 2 microns trahissent un astéroïde de classe S. (J. Emery/ UT-Knoxville et al)

presque assez rapide pour causer la séparation des deux lobes et peut modifier la forme générale si la cohésion n'est pas grande. L'effet différentiel de la pression de radiation sur les différentes parties de l'astre (effet dit de Yarkovsky–O'Keefe–Radzievskii–Paddack, ou « YORP ») modifie constamment cette vitesse et pourrait expliquer la forme particulière. On peut aussi imaginer que l'astéroïde actuel provient d'une collision d'un plus grand objet avec un autre astéroïde et que les morceaux se sont rassemblés sous l'effet de leur faible attraction mutuelle.



L'antenne de 70 mètres de Goldstone, appartenant au Deep Space Network (DSN) de la NASA. (NASA/JPL-Caltech)

