

Si le Soleil était un projecteur sur une scène de théâtre, une naine rouge serait une bougie. Il faudrait alors être bien plus près de la bougie pour ressentir autant de chaleur qu'on ne le ressent à une certaine distance du projecteur. Dès lors, autour d'une naine rouge, la zone habitable est bien plus proche de l'astre qu'autour du Soleil. Et la période de révolution des planètes dans cette zone habitable sera alors plus courte, assez pour faire les affaires de *Tess*: pour une naine rouge de un cinquième de la masse solaire, la période de révolution dans la zone habitable se compterait en quelques semaines.

Le satellite *Kepler* a examiné quelques milliers de naines rouges et a découvert qu'elles étaient souvent accompagnées de bien plus de planètes que les étoiles de type solaire. Sur les quelques centaines de milliers d'étoiles ciblées par *Tess*, environ 50 000 seront des naines rouges. Bien que ces astres soient peu lumineux, leur petite taille est un atout: au cours du transit d'une éventuelle planète, celle-ci occulterait alors une plus grande portion de l'astre. La baisse de luminosité serait donc plus marquée, et plus facile à repérer. Par exemple, une planète serait tout aussi détectable autour d'une étoile 16 fois moins lumineuse qu'une autre si le diamètre de cette étoile est seulement la moitié de celui de la seconde. En réalité, le signal de transits de planètes autour de naines rouges est si net qu'il ne serait en principe même pas nécessaire d'utiliser un télescope spatial.

TRAPPIST, SPECULOOS, DES TRAQUEURS D'EXOPLANÈTES

Et, effectivement, plusieurs projets de recherche au sol de transits se consacrent à la recherche d'exoplanètes autour de naines rouges. Ces étoiles étant peu lumineuses, les astrophysiciens doivent faire appel à des télescopes de grand diamètre, donc à champ de vision étroit. Ils doivent suivre alors les étoiles une par une, ce qui réduit l'efficacité de la traque et en fait une entreprise à long terme. Après des années de traque, seuls trois systèmes planétaires ont été découverts par cette approche. Mais ces trois systèmes sont parmi les découvertes les plus sensationnelles du domaine. L'un d'eux, Trappist-1, a fait les grands titres en 2017. Ce petit système n'a pas moins de sept planètes de la taille de la Terre sur des orbites serrées autour d'un astre si petit qu'il entre tout juste dans la catégorie des étoiles. Et au moins deux des sept planètes se trouvent dans la zone habitable.

Pour l'anecdote, le nom du télescope, *Trappist*, grâce auquel la découverte a été réalisée, est un acronyme (*TRAnsiting Planets and Planetesimals Small Telescope*), mais c'est surtout le nom d'une bière belge bien connue. Dans le même esprit, le responsable de *Trappist*, Michaël Gillon, a nommé *Speculoos* (*Search for*

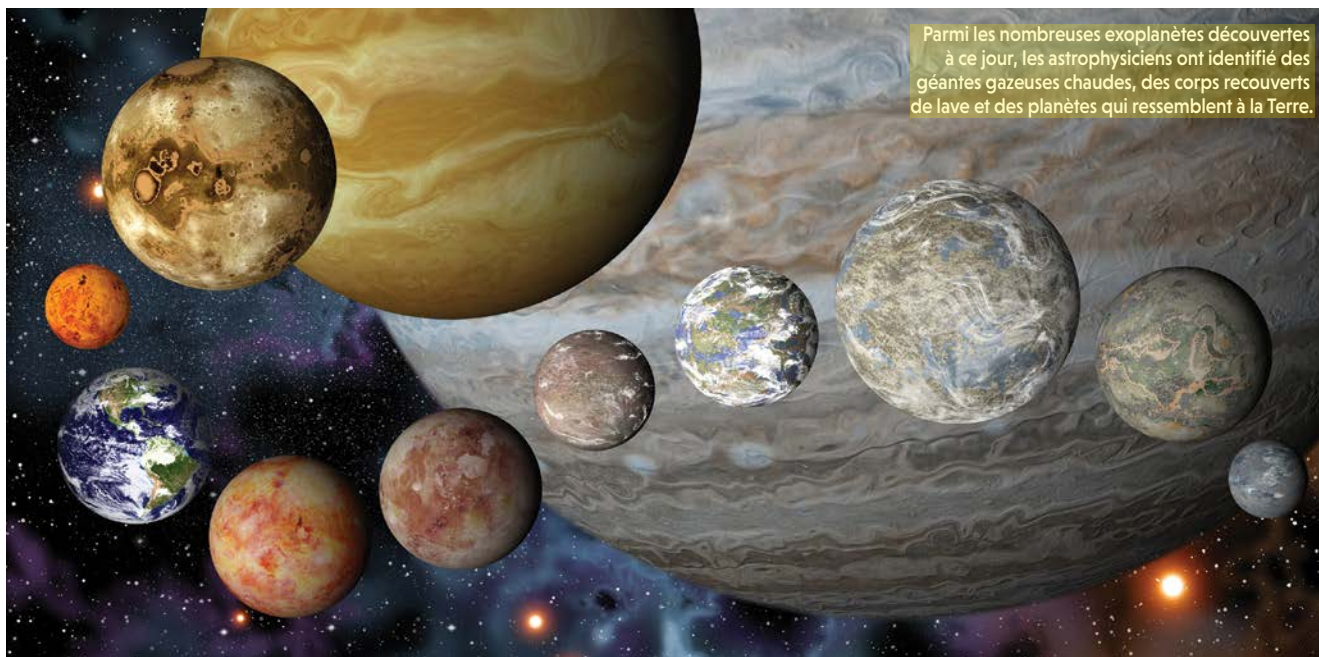
habitable Planets ECLipsing ULtra-coOL Stars) un autre projet de recherche d'exoplanètes; ce nom désigne un biscuit également belge.

Grâce aux futures missions spatiales évoquées et aux projets au sol, nous connaissons la position de milliers de planètes qui transitent devant leur étoile. Nous déterminerons certaines de leurs caractéristiques telles que la masse, et la densité, ce qui nous permettra de mettre à l'épreuve nos modèles de formation planétaire. Et si nos prévisions sont justes, nous aurons enrichi notre collection de planètes de la taille de la Terre dans la zone habitable de leur étoile.

Mais comment aller plus loin et savoir si un monde potentiellement habitable héberge effectivement une forme de vie? L'approche classique, proposée dans les années 1950, consiste à pointer un grand radiotélescope vers la planète et espérer capter les émissions électromagnétiques d'une civilisation extraterrestre intelligente. Même si le raisonnement n'est pas absurde, nous n'avons aucune idée de ses chances de réussite.

Une autre approche consiste à analyser l'atmosphère de l'exoplanète pour y rechercher des traces de vie. C'est possible en utilisant une petite astuce au cours de l'observation d'un transit. Les couches les plus externes de la planète correspondent à l'atmosphère et sont en partie transparentes. Ainsi, lorsque la planète effectue un transit, une fraction de la lumière de l'étoile est filtrée par l'atmosphère avant de nous parvenir. Grâce à une analyse spectroscopique de cette lumière qui a traversé les couches gazeuses de la planète, nous sommes en mesure de déterminer la composition de l'atmosphère. En effet, chaque atome ou molécule absorbe ou diffuse la lumière à différentes longueurs d'onde. Ils laissent donc une signature assez claire dans le rayonnement capté par les télescopes. Ainsi, en comparant le spectre de l'étoile avant, pendant et après le transit, il est possible de déduire la présence de certains éléments dans l'atmosphère de l'exoplanète. Par exemple, le sodium absorbe des photons de lumière d'une longueur d'onde de 589 nanomètres.

Les astronomes ont utilisé cette technique sur des planètes en transit de la taille de Jupiter et même sur certaines plus petites, comparables à Neptune et Uranus. Ils ont découvert des molécules de méthane, de monoxyde de carbone et d'eau dans ces atmosphères extraterrestres. Mais la méthode n'a jamais été appliquée sur des planètes de la taille de la Terre parce que leur signal est trop faible, et parce que les étoiles autour desquelles elles ont été trouvées sont trop peu lumineuses et lointaines. Mais si, grâce aux projets à venir, nous trouvons de l'oxygène dans l'atmosphère d'un tel corps, l'émotion serait grande. En effet, si l'atmosphère de la Terre contient une importante ➤



Parmi les nombreuses exoplanètes découvertes à ce jour, les astrophysiciens ont identifié des géantes gazeuses chaudes, des corps recouverts de lave et des planètes qui ressemblent à la Terre.

> proportion d'oxygène, c'est grâce aux organismes vivants. Si la vie sur notre planète disparaissait subitement, les roches absorberaient l'oxygène en quelques millions d'années pour former des oxydes. Dès lors, une exoplanète dont l'atmosphère présente de grandes quantités d'oxygène pourrait être le siège d'une vie.

Dans ce contexte, *Tess*, *Cheops* et *Speculoos* serviront d'éclaireurs au futur grand observatoire spatial, le télescope *James-Webb*, qui prendra la succession du télescope *Hubble*. D'un coût de 10 milliards de dollars (environ 8 milliards d'euros), *James-Webb* décollera en 2019. Il sera alors l'outil le plus efficace pour réaliser des mesures de spectroscopie lors de transits. Mais la durée de vie de cette mission sera assez courte : les réserves de carburant nécessaires au maintien de l'orbite s'épuiseront au bout de 5 à 10 ans. Étant donné ce calendrier serré, il y a une certaine urgence à découvrir les meilleures cibles à proposer au télescope *James-Webb*.

Comme le temps d'observation sur le télescope *James-Webb* sera très demandé, certains spécialistes des exoplanètes se sont associés pour concevoir et proposer des télescopes qui seront dédiés uniquement à l'analyse spectrale des transits. La mission américaine se nomme *Finesse* (*Fast infrared exoplanet spectroscopy survey*) et son alter ego européen est *Ariel* (*Atmospheric remote-sensing infrared exoplanet large survey*). Le terme infrarouge apparaît dans les deux noms, car les molécules telles que l'eau et le dioxyde de carbone sont plus faciles à détecter dans cette gamme du spectre électromagnétique. Dans un an ou deux, nous saurons si ces projets auront le feu vert pour être réalisés.

À plus long terme, un projet européen, *Plato*, est prévu pour décoller en 2026. Je vois *Plato* comme un super-*Tess* : il aura 24 télescopes pour surveiller le ciel, au lieu de 4. *Plato* devrait traquer des exoplanètes avec une meilleure sensibilité et sur de plus longues périodes que tous les autres télescopes.

Par ailleurs, la précision des données de *Plato* sera assez élevée pour détecter les variations de luminosité liées aux vibrations de l'étoile. En effet, les étoiles sont parcourues par des ondes, comme des vagues, à la façon des tremblements de terre. Leur étude est nommée astérosismologie. Les fréquences et les motifs de ces vibrations dépendent de la structure interne des étoiles, notamment leur densité et leur composition.

Quand *Plato* découvrira une planète, nous bénéficierons donc d'une meilleure connaissance des propriétés de son étoile hôte, son âge par exemple. En effet, en vieillissant, une étoile transforme son hydrogène en hélium ; ce changement de composition se manifeste par de subtiles modifications dans les vibrations de l'étoile, de quoi estimer son âge. Par l'astérosismologie, nous pourrions ainsi déterminer si l'étoile est au début de sa vie ou si elle a déjà brûlé son hydrogène depuis 10 milliards d'années. Autrement dit, nous pourrions étudier l'évolution des systèmes planétaires au cours du temps cosmique.

Entre les analyses en cours des données de *Kepler* et celles à venir de *Tess*, *Cheops*, *James-Webb* et *Plato*, la chasse aux exoplanètes a un programme bien chargé. Mais cette quête ne s'arrêtera probablement pas là. Et tous les astronomes en herbe qui ont été époustouffés par l'éclipse du Soleil en 2017 auront encore de nombreuses éclipses planétaires à étudier quand ils seront devenus des chercheurs. ■

BIBLIOGRAPHIE

L. G. Bouma et al., **Planet detection simulations for several possible TESS extended missions**, en ligne, 2017 (arXiv:1705.08891).

G. R. Ricker et al., **Transiting exoplanet survey satellite**, *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments and Systems*, vol. 1(1), article 014003, 2015.

R. Heller, **Des exoplanètes plus accueillantes que la Terre**, *Pour la Science*, n° 449, mars 2015.

K. Heng, **Le climat des exoplanètes**, *Pour la Science*, n° 421, novembre 2012.