

> complémentaire de celui de *Tess*. Alors que *Tess* procédera à un balayage large et systématique du ciel, *Cheops* pointera sur des étoiles précises, à propos desquelles des indices d'exoplanètes ont été signalés. L'idée est de collecter des données de meilleure qualité pour ces systèmes particuliers.

DEUX STRATÉGIES COMPLÉMENTAIRES

Par exemple, si *Tess* trouve des indices de la présence autour de telle étoile d'une planète intéressante, mais sans avoir de données assez fiables pour le confirmer, l'un de mes collègues ou moi contacterons l'équipe de *Cheops* pour voir s'ils peuvent y jeter un œil. Ou considérons Proxima du Centaure et Ross 128, deux étoiles voisines pour lesquels la technique Doppler a suggéré la présence de planètes comparables à la Terre. *Cheops* pourrait alors traquer des éclipses de ces deux étoiles. Il faudra encore un peu de chance pour que l'orbite de la planète soit dans le bon alignement avec notre ligne de visée : pour Proxima du Centaure, la probabilité est de 1,4%. Mais si on a de la chance, on en saura beaucoup plus sur ces planètes.

Ces satellites nous propulseront dans une nouvelle ère d'étude des exoplanètes, mais ils ne sont pas parfaits. Pour être sûrs qu'une baisse de luminosité est bien le fait d'un transit et non d'une erreur de l'instrument, les chercheurs aiment observer plusieurs occurrences de ce phénomène périodique. Malheureusement, *Tess* ne scrutera chaque étoile que pendant un mois, une durée bien trop courte pour observer plusieurs transits d'une planète comme la Terre, qui met un an pour faire un tour complet. Néanmoins, pour une petite portion du ciel, où tous les secteurs se recouvrent, *Tess* observera certaines étoiles sur une période qui s'étirera jusqu'à un an (mais cela restera bien inférieur aux quatre ans de la vision fixe de *Kepler*).

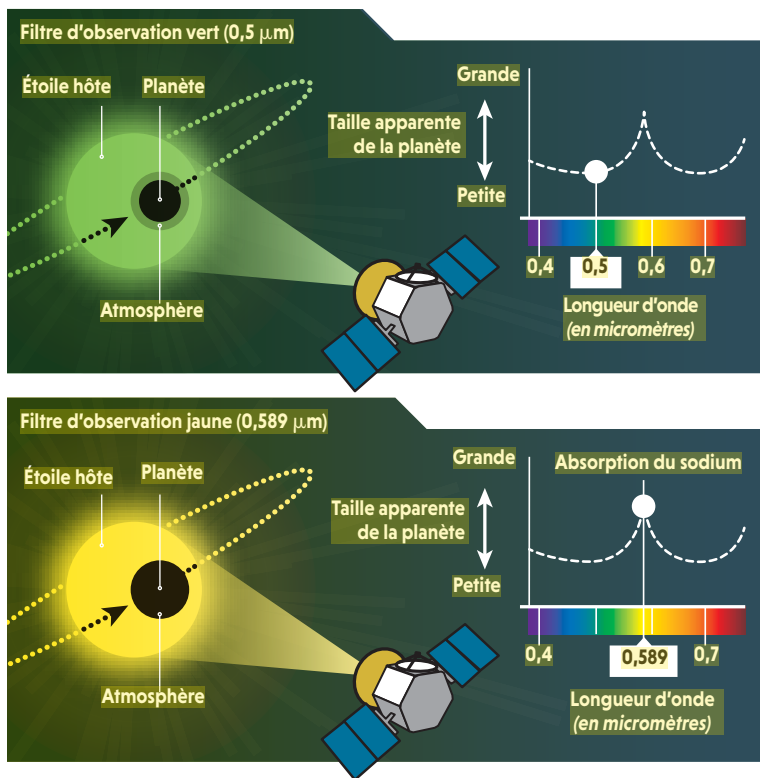
Par conséquent, *Tess* sera surtout efficace pour la découverte de planètes ayant une très courte période de révolution, quelques semaines ou moins. Ce n'est pas idéal, mais c'était la seule façon pour l'équipe qui a conçu la mission de maintenir un budget inférieur à l'enveloppe prévue de 228 millions de dollars (environ 183 millions d'euros). C'est néanmoins un bon compromis, car *Kepler* nous a montré qu'il existe une grande variété de planètes proches de leur étoile (donc ayant une période de révolution courte) : des mondes de lave, des planètes enflées de faible densité, des planètes en interaction sur des trajectoires chaotiques et même des planètes qui s'évaporent sous l'effet de la chaleur extrême de leur étoile. *Tess* devrait trouver les exemples les plus proches de toutes ces catégories exotiques de planètes, et donner l'occasion de les étudier dans les meilleures conditions possible avec d'autres instruments.

Pour détecter une planète vraiment semblable à la Terre en orbite autour d'une étoile comparable au Soleil, il faudra attendre. Néanmoins, *Tess* jouera aussi son rôle dans la quête à long terme de la recherche de vie sur d'autres planètes. Nous estimons que *Tess* devrait trouver une dizaine de planètes de taille terrestre dans la zone habitable de leur étoile, autant que *Kepler*. Pour ce faire, il faudra examiner d'autres étoiles que celles ressemblant au Soleil. En effet, si le Soleil n'est finalement qu'une étoile assez ordinaire parmi des centaines de milliards dans la Voie lactée, il n'appartient pas à la famille la plus répandue, celle des naines rouges, plus froides et moins lumineuses, de masse inférieure à la moitié de celle du Soleil.

ÉTUDIER L'ATMOSPHÈRE GRÂCE AU TRANSIT

Le transit est aussi utilisé pour déterminer la composition de l'atmosphère planétaire. Lorsqu'une planète passe devant son étoile, une partie de la lumière traverse l'atmosphère. Les molécules de cette dernière absorbent la lumière à des longueurs d'onde particulières et laissent une signature dans le rayonnement qui parvient sur Terre. En comparant le spectre de l'étoile à la lumière captée pendant le transit, il est possible de récupérer ces informations.

La taille apparente de la planète diffère selon la longueur d'onde à laquelle on regarde la lumière émise par l'étoile (ci-dessous). Elle est plus petite dans le vert, car la lumière traverse l'atmosphère de la planète sans être absorbée. La composante jaune est bloquée par l'atmosphère ; la planète paraît alors plus grande. Cette absorption est typique du sodium ; on en déduit la présence de cet élément.



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 ➤