

À la recherche

d'autres mondes

L'univers est-il peuplé d'autres Terres qui abriteraient des organismes vivants ? Traquant des signatures de vie extraterrestre dans notre galaxie, la science a désormais rejoint la science-fiction. Une étape cruciale dans cette quête est l'identification d'exoplanètes telluriques et la caractérisation de leur atmosphère

34

Texte: Philippe LAMBERT • ph.lambert.ph@skynet.be

Photos: NASA (p.34), ESO (p.35), O. ABSIL (p.36),

M. KARLSSON/Uppsala University (p.37)

» En bref...

- * L'astrobiologie est la discipline scientifique qui étudie l'origine, l'évolution et la distribution de la vie dans l'univers.
- * Qui dit «vie» dit «biosignatures»: de l'eau, une source d'énergie, du carbone, de l'azote, de l'oxygène et de l'hydrogène.
- * La 1^{re} exoplanète, impropre à féconder la vie, fut découverte en 1995 par Michel Mayor et Didier Queloz, de Genève, à 50 années-lumière de la Terre.

Existe-t-il, en dehors du système solaire, des formes de vie biologique sur des planètes comparables à la Terre ? Ce questionnement n'est pas neuf. L'idée de la possible existence d'autres mondes habités taraudait déjà les penseurs de la Grèce antique, avant de s'amplifier au Moyen Âge et de faire florès à partir du 17^e siècle, dans la foulée du développement des lunettes astronomiques, puis des télescopes.

Cette énigme lancinante se trouve aujourd'hui au cœur des travaux d'une discipline scientifique qui lui est entièrement dévouée: l'astrobiologie, laquelle ambitionne d'étudier l'origine, l'évolution et la distribution de la vie dans l'univers. Dans la quête d'une vie extraterrestre, la traque porte sur des traces métaboliques issues d'une biochimie comparable à celle qui régent la vie sur

Terre. Certains astrobiologistes postulent néanmoins que d'autres formes de vie pourraient exister dans le cosmos. Pour d'autres, l'ammoniac ou le méthane, à l'état liquide, pourraient se substituer à l'eau, par exemple. De même, le silicium serait potentiellement une alternative au carbone. «*Ces solutions exotiques paraissent cependant peu plausibles*», indique Olivier Absil, chercheur qualifié du FNRS au sein du département d'astrophysique, géophysique et océanographie de l'Université de Liège (ULg).

SIGNATURES DE VIE

Plusieurs conditions sont indispensables à l'émergence de la vie telle que nous la connaissons sur Terre. La présence d'eau liquide en est une, cette dernière étant

TRAPPIST, le télescope robotique de l'ULg situé dans le désert de l'Atacama, au Chili. Les télescopes de SPECULOOS seront similaires à TRAPPIST, mais de plus grande taille (1 m au lieu de 60 cm).



le meilleur solvant pour l'établissement des multiples liaisons chimiques qui permettent à la complexité de s'élaborer et d'accoucher de la vie. Il faut par ailleurs une source d'énergie non seulement pour maintenir l'eau à l'état liquide, mais aussi pour activer les réactions chimiques. Cet apport énergétique peut notamment provenir d'une étoile proche (le Soleil en ce qui nous concerne) ou du volcanisme. Outre l'eau, d'autres éléments chimiques sont requis: essentiellement le carbone, l'oxygène, l'hydrogène et l'azote. «Tous les disques protoplanétaires (1) sont riches en ces éléments, de sorte que les ingrédients de la vie devraient logiquement être disponibles dans tous les systèmes planétaires», explique Michaël Gillon, lui aussi chercheur qualifié du FNRS au sein du département d'astrophysique, géophysique et océanographie de l'ULg. Et d'ajouter: «Dès lors, en cherchant l'eau liquide, on cherche vraiment l'essentiel, puisque sa présence implique également celle d'une source d'énergie.»

La détection de «biosignatures», c'est-à-dire de signatures de vie, nécessite la caractérisation spectroscopique de l'atmosphère des exoplanètes dont les spécificités laissent supposer que des organismes vivants pourraient s'y être développés. «On ne connaît pas de processus abiotique capable de produire simultanément de l'eau, de l'oxygène moléculaire et du dioxyde de carbone dans une atmosphère planétaire, dit Olivier Absil. A priori, ces composés chimiques ne peuvent coexister que s'ils émanent d'une activité biologique.»

Prenons le cas de la Terre. La photosynthèse y crée constamment de l'oxygène. Celui-ci s'est accumulé lentement pendant des milliards d'années, à telle enseigne que son taux atmosphérique est aujourd'hui très élevé. «L'oxygène étant fort réactif, il disparaîtrait de notre atmosphère si la vie s'arrêtait subitement sur Terre, souligne Michaël Gillon. Un "extraterrestre intelligent" qui aurait connaissance de la composition de l'atmosphère de notre planète conclurait

à un déséquilibre chimique dont l'origine ne peut être que la présence d'organismes vivants pratiquant la photosynthèse oxygénique.»

Mais, avant d'espérer trouver une vie extraterrestre, encore faut-il repérer des exoplanètes présentant le bon profil pour l'accueillir et ensuite être à même de «sonder» leur atmosphère par voie spectroscopique pour en identifier les signes.

UNE MYRIADE DE PLANÈTES TELLURIQUES

La première exoplanète fut découverte en 1995 par Michel Mayor et Didier Queloz, de l'Observatoire de Genève. Elle est en orbite hyperserrée (4 jours de période) autour de l'étoile 51 de la constellation de Pégase, à 50 années-lumière de la Terre. Il s'agit d'une planète géante gazeuse d'une masse au moins égale à 45% de celle de Jupiter. Après cette découverte, les astronomes moissonnèrent nombre d'autres planètes similaires (géantes gazeuses en orbite très rapprochée), auxquelles fut attribué le nom générique de «Jupiters chauds». Gazeuses, géantes, proches de leur étoile, elles sont toutefois impropres à féconder la vie.

Depuis lors, les techniques de détection se sont affinées. Ainsi, s'appuyant sur la méthode dite des transits, le satellite Kepler de la Nasa, lancé le 7 mars 2009, a débusqué des milliers de candidates exoplanètes, grandes et petites, dont

plus d'une centaine ont désormais été authentifiées après confirmation de leur existence par une autre technique que celle des transits. «En fait, on sait par analyse statistique que la plupart des candidates trouvées par le satellite de la Nasa sont réellement des planètes, commente Michaël Gillon. La mission Kepler a en outre révélé que la majorité des étoiles de notre galaxie ont des planètes telluriques, c'est-à-dire composées de roches et de métaux. Par extrapolation, on estime que la Voie lactée en renferme au moins 100 milliards.» Il apparaît également que les planètes sont d'autant plus nombreuses dans la galaxie qu'elles sont petites.

Historiquement, la technique la plus couramment utilisée pour rechercher des exoplanètes est celle des vitesses radiales, qui tire profit de l'effet Doppler. Un spectrographe décompose la lumière de l'étoile en raies spectrales caractéristiques des éléments chimiques composant l'atmosphère stellaire. Ces raies sont décalées vers le rouge lorsqu'un astre s'éloigne de nous et vers le bleu lorsqu'il se rapproche. Les variations périodiques du spectre lumineux qui nous parvient témoignent de la présence d'un objet massif, une exoplanète, qui, orbitant autour de l'étoile, amène celle-ci à se rapprocher et s'éloigner légèrement de nous de façon alternative.

«Grâce à sa précision extrême, la méthode des vitesses radiales permet de détecter de toutes petites planètes, fait remarquer Olivier Absil. Le problème est que si l'on perçoit qu'un objet orbite autour d'une étoile, on est incapable d'en estimer précisément la masse et de déterminer s'il s'agit d'une planète rocheuse ou d'une planète

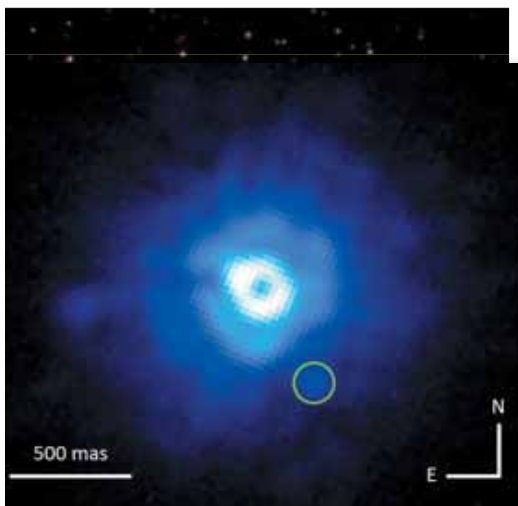


Illustration de l'effet de vortex optique. Image brute obtenue en insérant le vortex optique (ULg - Uppsala University) pour la première fois au foyer de la caméra infrarouge NACO du Very Large Telescope (téléscope européen de 8 m de diamètre installé à l'observatoire du Cerro Paranal, au Chili). La zone centrale correspond à l'étoile beta Pictoris, fortement atténuée par l'effet de vortex: seule reste une petite partie de la lumière stellaire, autour de l'axe optique du vortex. On peut déjà identifier sur cette image brute la présence (déjà connue) d'un compagnon planétaire en orbite autour de cette étoile (cfr cercle vert).

36

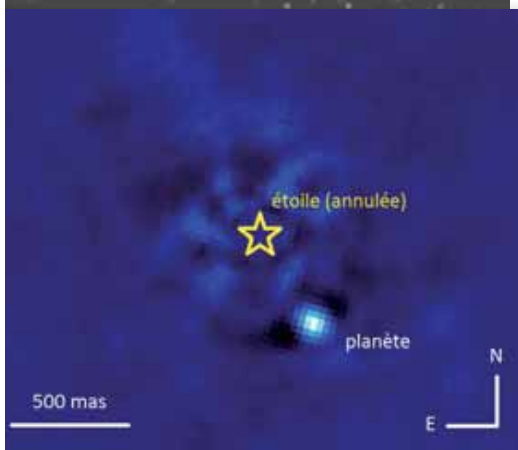


Image finale, après traitement, de l'étoile beta Pictoris et de son compagnon planétaire, obtenue lors de la première utilisation, au Very Large Telescope, du coronographe de type vortex conçu par l'ULg et l'Université d'Uppsala. La planète géante (environ 10 fois plus massive que Jupiter) en orbite autour de l'étoile beta Pictoris est connue depuis 2009. L'observation obtenue avec le vortex a permis de vérifier qu'il n'y a pas d'autre planète géante dans ce système planétaire et de continuer le suivi du mouvement orbital de la planète identifiée.

gazeuse.» La méthode a donc principalement un intérêt statistique. Elle permet d'étudier la distribution des planètes autour des étoiles proches et, par extension, dans la galaxie.

ÉTOILES ULTRAFROIDES

La méthode des transits, elle, n'est applicable que lorsque la Terre se trouve dans le plan orbital de la planète à détecter, ou à proximité immédiate. Quel en est le principe ? Si une planète est en orbite autour d'une étoile, elle induira de façon périodique, par son passage devant l'étoile dans l'axe de visée de l'observateur, une atténuation de l'intensité lumineuse en provenance de celle-ci. Ce sera l'empreinte de son existence. Aussi la probabilité de repérer des planètes par la méthode des transits est-elle d'autant plus élevée que ces dernières sont proches de leur étoile et partant, que leur période orbitale est courte. Aujourd'hui, un objectif majeur est de détecter de petites planètes telluriques et de réussir à étudier leur atmosphère en détail afin d'y percevoir d'éventuelles biosignatures.

Méthode indirecte de détection à l'instar de la technique des vitesses radiales - on n'obtient pas d'image de la planète, on conclut à sa réalité -, la méthode des transits autorise une étude détaillée de l'atmosphère planétaire. En effet, en comparant la luminosité du système «planète-étoile» selon que la planète ne se trouve pas dans l'axe reliant l'observateur à l'étoile ou selon qu'elle passe dans cet axe devant (transit) ou derrière l'objet stellaire (occultation), il est possible d'engranger de nombreuses informations sur sa composition atmosphérique.

Pour l'heure, ces approches ne sont appliquées avec succès que sur des planètes géantes en transit autour d'étoiles assez proches. Autrement dit, l'atmosphère des petites planètes décelées par Kepler est inaccessible aux outils actuellement disponibles. «La précision des mesures est fonction de la proximité et de la brillance de l'étoile, souligne Michaël Gillon. Les étoiles concernées par la mission Kepler étaient trop éloignées et de trop faible luminosité.» Cela étant, la taille de l'étoile influe aussi sur la qualité des mesures obtenues par la méthode des transits: plus sa taille relative augmente

par rapport à celle de la planète, plus le signal perçu est dilué.

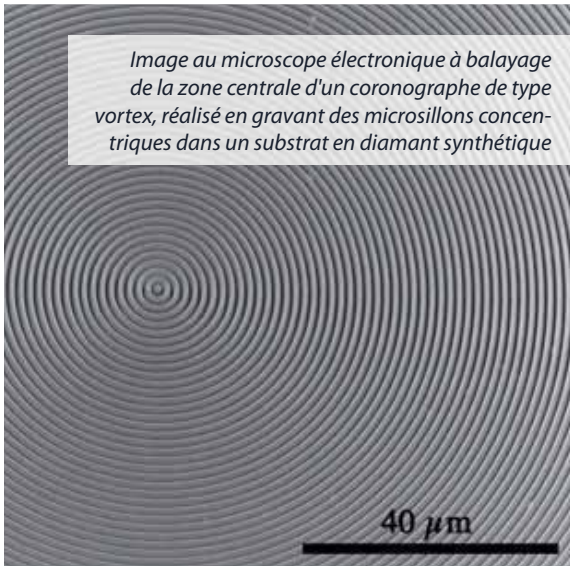
«Si l'on veut étudier en détail, au moyen de ces méthodes, des exoplanètes telluriques d'une taille comparable à celle de la Terre, le mieux est de centrer les recherches sur de petites étoiles très proches, appelées étoiles ultrafroides», précise encore Michaël Gillon. Or de telles étoiles foisonnent dans notre galaxie (2). Néanmoins, jusqu'à présent, aucun transit d'une planète de taille terrestre n'a été détecté autour d'étoiles de ce type, alors qu'en raison de leur faible masse, de leur taille, de leur luminosité et de leur température, ces dernières sont réputées accroître les possibilités de débusquer, depuis la Terre, les biosignatures atmosphériques d'exoplanètes habitables.

MISSION DE REPÉRAGE

Ce constat est à l'origine du programme SPECULOOS, qui a obtenu récemment une bourse ERC Starting Grant de 2 millions d'euros octroyée par l'Union européenne. Conduit par Michaël Gillon, ce projet de recherche de l'ULg s'appuie sur l'installation prochaine de 2 nouveaux télescopes robotiques d'1 m de diamètre sur le site de l'Observatoire européen austral (ESO) au sommet du Cerro Paranal, dans le désert de l'Atacama au Chili. L'objectif des astrophysiciens liégeois est de détecter non seulement des planètes telluriques de la taille de la Terre, qui seraient en transit au voisinage d'étoiles ultrafroides proches, et de déterminer leur fréquence, mais aussi de «mettre le doigt» sur des planètes plus petites encore. Il s'agit donc d'une mission de pur repérage, au cours de laquelle les chercheurs espèrent faire une moisson de petites planètes potentiellement propices à l'éclosion de la vie, dont l'atmosphère sera étudiée ensuite avec des moyens techniques en cours d'élaboration.

«Nos 2 télescopes d'1 m de diamètre ne sont pas assez puissants pour étudier l'atmosphère d'une petite planète rocheuse, dit le responsable du programme SPECULOOS. En revanche, des télescopes géants sont en préparation et seront capables de le faire. Je pense en particulier au télescope spatial James Webb (JWST) de 6 m de diamètre, qui devrait remplacer Hubble vers 2020, ou à l'European Extremely Large

Image au microscope électronique à balayage de la zone centrale d'un coronographe de type vortex, réalisé en gravant des microsillons concentriques dans un substrat en diamant synthétique



Telescope (40 m de diamètre), qui sera installé au Chili dans les années 2022-2023.» Se profile à l'horizon la possibilité d'étudier l'atmosphère de planètes telluriques susceptibles d'abriter la vie, et peut-être d'y identifier des biosignatures.

L'AVEUGLANTE LUMIÈRE

Alors que la méthode des transits permet déjà de caractériser l'atmosphère des planètes, une méthode plus ambitieuse encore vise à obtenir de véritables images des systèmes planétaires, ce qui autoriserait une analyse directe de la lumière émise (ou réfléchi) par les planètes.

Ainsi que le souligne Olivier Absil, photographe directement les exoplanètes est une tâche particulièrement compliquée, qui peut être comparée à la détection depuis la Belgique d'une luciole volant autour du phare du port d'Athènes. Deux techniques peuvent être mises en œuvre afin d'autoriser une détection directe d'exoplanètes: l'«interférométrie de nulling» - nous n'en parlerons pas ici - et la coronographie, dont l'objectif est d'arriver à s'affranchir du flux de lumière stellaire dans lequel est noyée la planète à découvrir. «Des dispositifs spécifiques, appelés coronographes, doivent être utilisés sur les télescopes pour atténuer l'aveuglante lumière de l'étoile et révéler la faible lumière provenant des planètes qui l'entourent», explique Olivier Absil.

En 1930, l'astronome français Bernard Lyot donnait vie au premier coronographe,

instrument d'optique conçu pour observer la couronne solaire et la chromosphère en dehors des éclipses, seuls moments où elles étaient «naturellement visibles».

Puis, au fil des évolutions techniques, germa l'idée de passer du Soleil aux étoiles, de faire de la coronographie stellaire. Pas simple ! Car une chose est d'occulter le disque solaire, une autre est de cacher le disque, beaucoup plus petit en apparence, d'une étoile lointaine. Plusieurs décennies furent nécessaires avant que la coronographie stellaire ne livrât de premiers résultats dignes de ce nom, dans les années 80. Et ce n'est qu'en 2008 qu'une planète extérieure au système solaire put être photographiée pour la première fois.

Aujourd'hui, nombre d'équipes à travers le monde travaillent à l'application de la coronographie dans le domaine de la recherche d'exoplanètes. À l'instar de Michaël Gillon, Olivier Absil pilote un projet qui vient de se voir octroyer, lui aussi, une bourse ERC Starting Grant (1,5 million d'euros). Baptisé VORTEX, il a pour ambition le développement d'un type de coronographe basé sur un effet de vortex optique. De quoi s'agit-il ? «Le vortex optique est une singularité dans le domaine optique, un endroit où la phase de la lumière n'est pas définie», indique Olivier Absil. Le but est de créer une espèce de trou noir optique en plaçant l'étoile dans l'axe de l'instrument, de manière telle que le vortex en annule le rayonnement.»

À l'heure actuelle, une dizaine d'exoplanètes seulement ont livré leur image aux coronographes, et encore était-ce des planètes géantes orbitant relativement loin de leur étoile. En effet, plus une planète est grande, plus son émission thermique est facile à détecter. De même, plus elle est distante de son étoile, plus il est aisé de dissocier leurs rayonnements respectifs. En clair, les techniques coronographiques actuelles éprouvent des difficultés à «capturer» de petites planètes orbitant à proximité d'une étoile, dans une zone où il ne fait ni trop chaud ni trop froid, une «zone habitable» où de l'eau liquide pourrait être présente à la surface de la planète. «Les défis techniques sont importants, d'autant qu'il faut non seulement mettre au point des systèmes coronographiques qui éteignent la lumière des étoiles, mais

aussi éliminer les turbulences de l'atmosphère terrestre, étant donné qu'elles génèrent des défauts optiques», confie le responsable du projet VORTEX.

UNE HISTOIRE DE DIAMANTS

L'équipe liégeoise collabore avec l'Université d'Uppsala, en Suède, au développement de vortex optiques de nouvelle génération dans le domaine infrarouge. Quels sont les fondements de la technique mise en œuvre ? Des réseaux microscopiques de diffraction sont gravés sur des petites pastilles de diamant synthétique afin de créer des vortex optiques aussi parfaits que possible. Installés sur des télescopes, ils devraient permettre de photographier des exoplanètes avec une sensibilité inégalée et de caractériser leur atmosphère.

«Nous avons pu tester les performances de nos premiers coronographes sur un banc de test optique, rapporte Olivier Absil. Ensuite, nous les avons installés sur des télescopes, en particulier le Very Large Telescope de l'ESO, au Chili. Les résultats initiaux sont déjà très satisfaisants, mais notre but est maintenant de développer de meilleurs vortex encore qui seront couplés à des instruments coronographiques de 2^e génération assurant une meilleure correction des turbulences atmosphériques et de meilleurs contrastes lorsque planète et étoile sont proches.»

Implantés sur les futurs télescopes géants, tel l'Extremely Large Telescope, ou les télescopes spatiaux de demain, comme JWST, les coronographes basés sur la technique des vortex optiques pourraient constituer, une fois à pleine maturité, le chaînon manquant qui permettra de photographier de petites planètes telluriques et d'extraire d'éventuelles signatures de vie de l'analyse de leur atmosphère. ■

- (1) Disque de gaz et de poussière qui environne une étoile et où sont susceptibles de se former des planètes.
- (2) Environ 15 à 20% des étoiles de notre galaxie sont des étoiles ultrafroides.