



# SIGNATURE DE VIE EXTRATERRESTRE : LES NOUVELLES PISTES

Nous aurons trouvé une autre Terre le jour où nous aurons découvert la vie ailleurs. Car c'est bien elle qui rend notre planète unique ! Mais comment s'y prendre pour détecter des êtres vivants à des années-lumière ? Deux nouvelles pistes ont émergé récemment dans les laboratoires.

C'est l'une des conséquences les plus enthousiasmantes de la découverte des exoplanètes : les astronomes se sont enfin lancés dans la recherche de la vie ailleurs. Pendant longtemps, ce fut un but inatteignable. Johannes Kepler était persuadé de l'existence d'êtres sur la Lune, mais il ne pouvait les voir. John Herschel imaginait *"des séjours destinés à d'autres races d'êtres vivants"* autour des étoiles, mais n'avait que

sa conviction d'astronome pour convaincre. Camille Flammarion voyait *"des millions de mondes habités parmi les milliards de planètes"*, mais à son époque le décompte s'arrêtait à Neptune ! Aujourd'hui, bien au-delà de notre petite voisine Mars, terrain de jeu des robots de l'exploration spatiale, les astronomes disposent de milliers de cibles potentielles. Surtout, avec la mise en route pendant cette décennie du James Webb Space Telescope, dans l'espace, ou au sol de l'Extremely Large Telescope (ELT) de 39 m de diamètre, ils pourront bientôt traquer les signatures de la vie (ou biosignatures) à plusieurs années-lumière.

De quelles biosignatures parle-t-on ? Pas d'artefacts extraterrestres, comme les canaux artificiels que Percival Lowell croyait voir sur Mars à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, ni de messages envoyés par une civilisation lointaine. Il est question ici de signatures globales, des sous-produits les plus généraux de l'activité biologique, susceptibles de transformer une planète entière sans qu'il y ait la moindre intention sous-jacente.

*"Les signatures liées à la photosynthèse sont les plus prometteuses, car c'est un mécanisme qui joue un rôle fondamental dans le vivant (1). En utilisant le rayonnement solaire — le biberon de la vie ! —, la photosynthèse convertit le carbone atmosphérique en carbone organique et produit l'écrasante majorité de la biomasse"*, rappelle Olivier Bastien, du laboratoire de physiologie cellulaire et végétale (LPCV), à Grenoble (2). Dans le processus, elle libère un déchet, l'oxygène, qui affecte profondément la composition de l'atmosphère terrestre. Au point que désormais la présence conjointe d'oxygène, d'ozone et de méthane ( $O_2$ ,  $O_3$  et  $CH_4$ ) dans une atmosphère est considérée comme une bonne signature de la vie. Une autre biosignature liée à la photosynthèse est le "Vegetation's Red Edge". Découvert en 1990 par la sonde Galileo alors en route vers Jupiter, ce saut brutal de l'éclat de la Terre entre les longueurs d'onde de 0,70 et 0,75 micron est provoqué par le fort contraste entre l'absorption du rayonnement visible par la chlorophylle, et la diffusion très efficace des infrarouges par les feuilles.

Deux biosignatures idéales ? Sur le papier, peut-être. Mais pour certains scientifiques, il est indispensable d'en chercher de nouvelles. D'une part parce qu'elles pourraient être difficiles à détecter : *"Dans une atmosphère très nuageuse ou brumeuse, la signature spectroscopique  $O_2/O_3/CH_4$  sera probablement gommée"*, explique par exemple Brice-Olivier Demory, professeur à l'université de Berne. Et d'autre part parce que la vie pourrait se nicher autour d'étoiles qui ne brillent pas comme le Soleil. Après tout, les trois quarts des étoiles de la Voie lactée sont des naines rouges. Froides, jusqu'à dix fois moins massives que notre étoile, et qui pour l'essentiel ne rayonnent pas dans le visible...

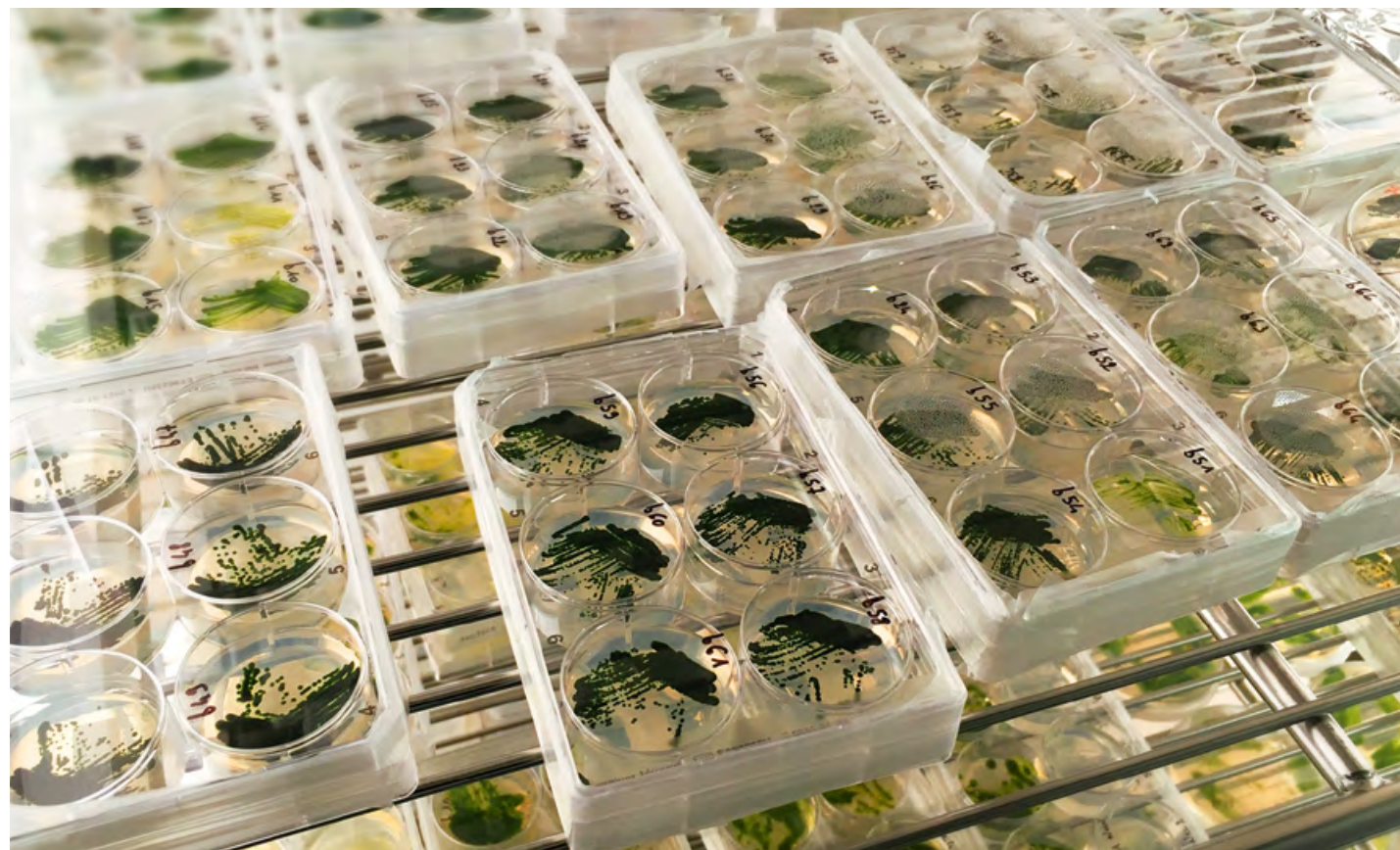
## LES ALGUES DE PROXIMA

Au LPCV, Olivier Bastien, Dimitris Petroustos et Yizhong Yuan, se sont ainsi lancés dans une expérience fascinante. *"Dimitris travaillait sur l'adaptation de la photosynthèse au rayonnement, raconte Olivier Bastien. En rencontrant les astronomes du projet Origins of Life de l'université de Grenoble, ça a fait tilt : la photosynthèse pourrait-elle être adaptée au rayonnement d'autres types d'étoiles que le Soleil ? Et pourrait-on alors déterminer sa signature ?"* Depuis quelques mois, dans une pièce anonyme du vaste laboratoire, des colonies de microalgues *Chlamydomonas reinhardtii* sont soumises à différentes lumières, dont une dans l'infrarouge qui reproduit le rayonnement de la naine rouge Proxima du Centaure — l'étoile la plus proche du Soleil, autour de laquelle a été repérée une petite planète tempérée en 2016. *"L'idée pour commencer est de voir comment ces différents rayonnements affectent la croissance de Chlamy (c'est*

La composition de l'atmosphère terrestre trahit la présence de vie à sa surface. Mais il y a 3 milliards d'années, elle était très différente et pourtant la vie était déjà apparue... © Nasa

son petit nom ici)”, poursuit le biologiste. Bien sûr, celle-ci n’a pas été choisie au hasard. Sur Terre, les microalgues représentent 80 % de la biodiversité marine et sont à la base de toute sa chaîne alimentaire. Elles jouent en outre un rôle essentiel dans la régulation du climat puisqu’avec les cyanobactéries (l’autre composante du phytoplancton), elles convertissent le CO<sub>2</sub> atmosphérique en oxygène. “Le phytoplancton est à l’origine de la moitié de l’oxygène produit sur Terre”, précise Olivier Bastien. Mais surtout, l’organisme unicellulaire aux 14 000 gènes<sup>(3)</sup> est l’un des jouets préférés de Dimitris Petroutsos, qui le connaît sur le bout des doigts. “Mon travail est d’utiliser des organismes photosynthétiques pour comprendre le rôle de la lumière dans les processus biologiques, explique-t-il. La lumière est à la fois une source d’énergie, une source d’information, et éventuellement une source de stress pour les organismes vivants.” Sur Terre, la lumière du Soleil est convertie par le vivant en signaux qui contrôlent l’expression des gènes, l’orientation des organismes, leur développement, leur rythme circadien et beaucoup d’autres processus.

Des microalgues *Chlamydomonas reinhardtii* en culture. Peuvent-elles prospérer sous la lumière d’une étoile naine rouge comme Proxima du Centaure ?  
© D. Fossé/C&E



Mais qu’en est-il des longueurs d’onde infrarouges ? A priori, elles ne sont pas très utiles pour la photosynthèse. Mais est-ce qu’elles peuvent affecter l’expression des gènes de Chlamy ? Est-ce que la microalgue, qui se multiplie toutes les 8 heures, pourrait s’adapter à l’éclat de Proxima du Centaure ? “Nous espérons qu’il se passera des choses intéressantes... En tout cas, nos résultats fourniront les premières données expérimentales à comparer aux travaux théoriques récents. Par exemple, ceux de Raymond Ritchie”, répond Olivier Bastien. En 2018, dans l’*International Journal of Astrobiology*, ce chercheur australien s’était demandé si la photosynthèse était possible sur Proxima Centauri b, la planète qui tourne autour de notre voisine. Réponse étonnante : oui ! Bien que la lumière disponible y soit très limitée, des organismes dotés de pigments bien terrestres pourraient en théorie activer ce mécanisme. “Le spectre d’une naine rouge semble exploitable, mais il nous faut des mesures en laboratoire pour le vérifier”, insiste Olivier Bastien.

Il ne s’agira d’ailleurs pas seulement de vérifier que *Chlamy* survit ou prospère selon la longueur d’onde à laquelle elle est soumise. L’équipe du LPCV mettra aussi quelques plants mutants au même régime, et après séquençage fera des comparaisons pour voir quels gènes sont sous-exprimés ou surexprimés, dans l’espoir d’identifier ceux qui réagissent au

rayonnement des naines rouges. “Nous pourrions aussi tenter de faire de la phylogénie et remonter le fil de l’évolution. Peut-être que cette expérience nous permettra de faire avancer la recherche sur l’un des trois grands mystères de la vie, avec l’apparition de la vie elle-même et celle du noyau des cellules : l’apparition de la chlorophylle !” s’enthousiasme Olivier Bastien.

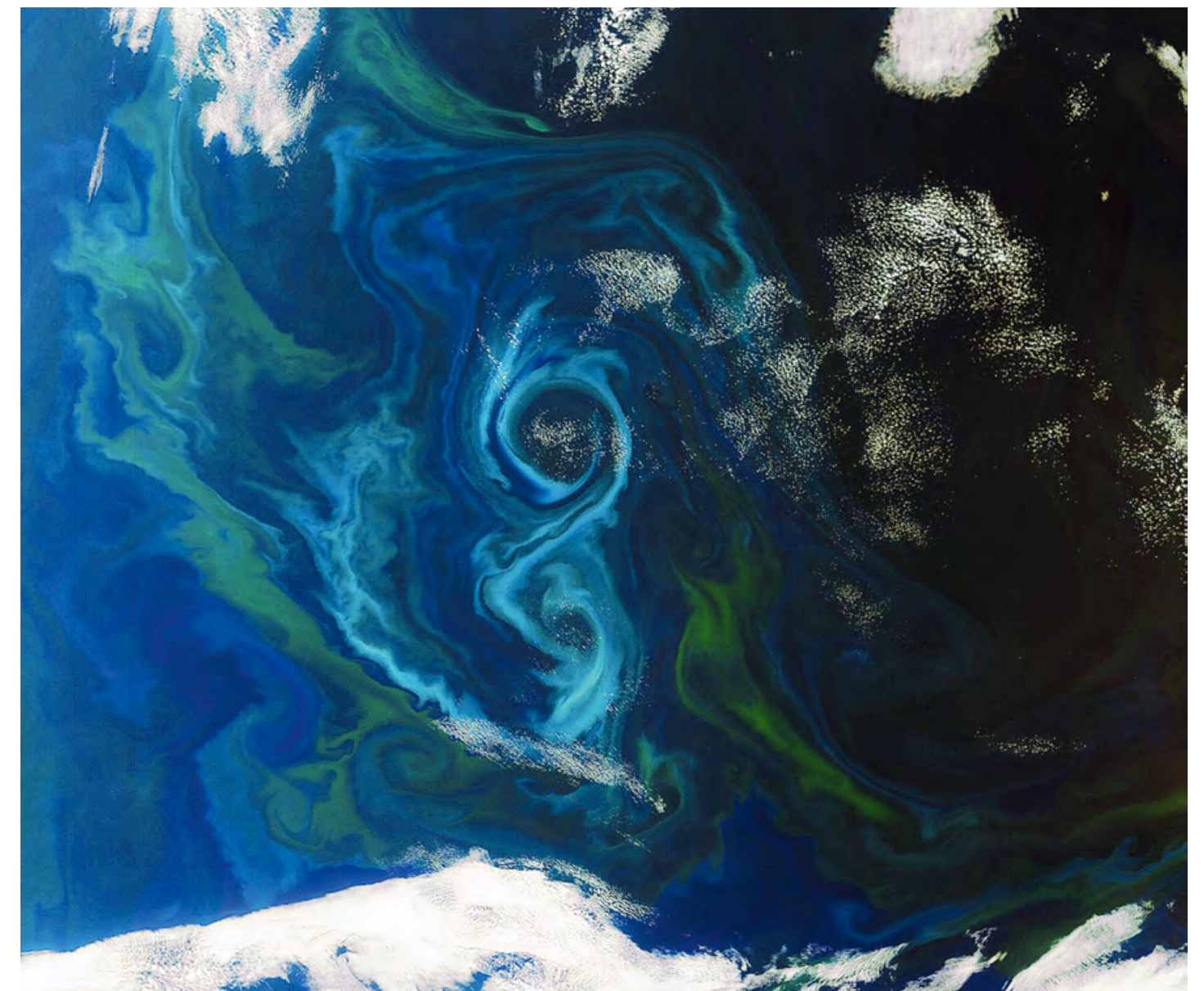
Quoi qu’il en soit, “s’il s’avère que des microalgues peuvent s’adapter au rayonnement d’une naine rouge, cela ouvrira une fenêtre sur la possibilité de la vie ailleurs”, souligne Dimitris Petroutsos. En tant que biologiste, le chercheur reconnaît qu’il a beaucoup de mal à imaginer l’apparition de la photosynthèse sur une autre planète : “C’est un phénomène tellement complexe !” Mais après tout, la lumière baigne tout l’Univers. Et il y a tant de mondes possibles. “Alors pourquoi pas ?” Les premiers résultats sont attendus d’ici un an ou

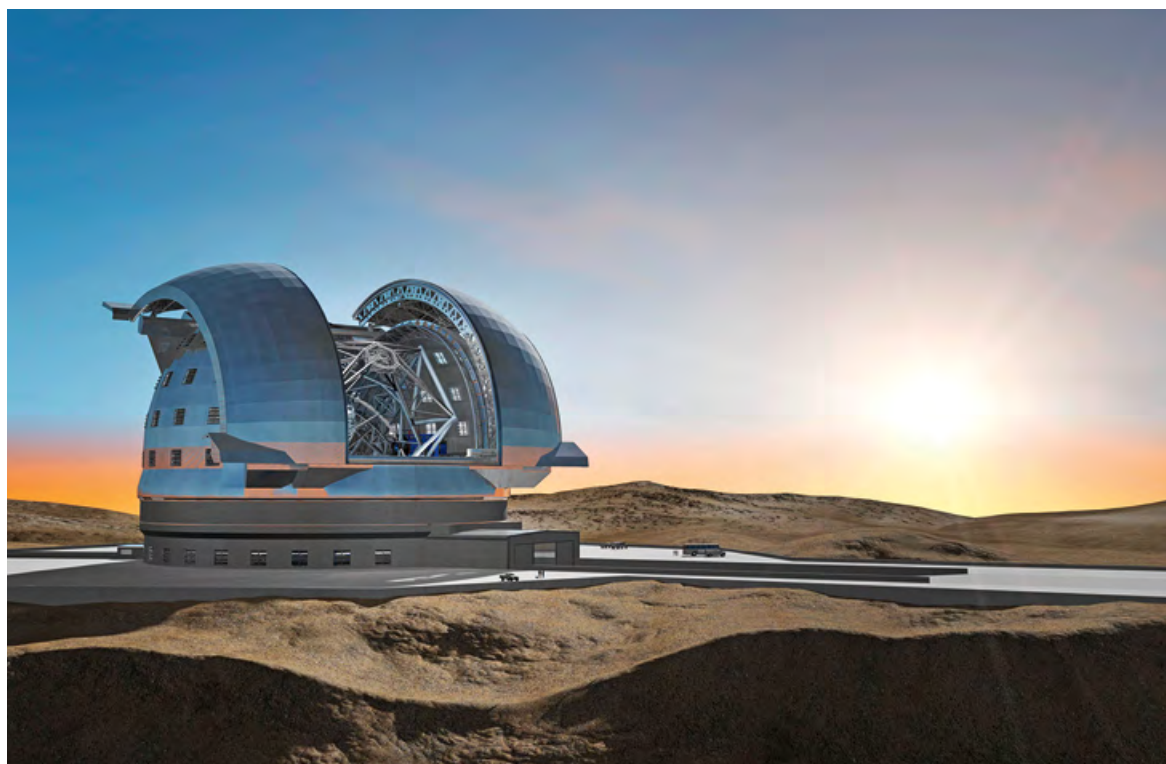
deux. Si *Chlamy* coopère, si elle survit aux infrarouges de Proxima du Centaure, les chercheurs pourront se pencher plus en détail sur sa biosignature. Qui sait, peut-être Proxima Centauri b possède-t-elle un “Vegetation’s Infrared Edge” ?

#### PROJET MERMOZ

Brice-Olivier Demory, lui, s’est lancé sur une autre piste. Tout aussi fascinante. Le projet Mermoz<sup>(4)</sup>, qu’il dirige depuis Berne, consiste à utiliser la polarisation de la lumière réfléchiée par les exoplanètes pour y détecter la vie. La polarisation ? C’est en quelque sorte la direction dans laquelle

Le phytoplancton est parfaitement visible depuis l’orbite terrestre. En changeant la teinte générale d’une exoplanète, ce genre d’organismes photosynthétiques pourrait trahir la présence de vie ailleurs. © Envisat/ESA





L'ELT est en cours de construction au Chili. Avec le James Webb Space Telescope, qui devrait être lancé en octobre 2021, il sera certainement utilisé pour chercher des biosignatures. © ESO

La photosynthèse est le moteur de la biosphère. Une forme de vie extraterrestre est-elle parvenue, elle aussi, à tirer parti de la lumière de son étoile ?  
© Pexels

une onde électromagnétique vibre. Elle peut être linéaire ou circulaire, et c'est cette dernière qui intéresse l'astrophysicien. "On sait depuis des décennies que les feuilles réfléchissent la lumière en lui imprimant une polarisation circulaire. En 2009, une équipe américaine a montré en laboratoire que les cyanobactéries le faisaient aussi. Cette polarisation pourrait être une excellente biosignature car elle est liée à une caractéristique profonde de la chimie de la vie : son homochiralité", explique le chercheur.

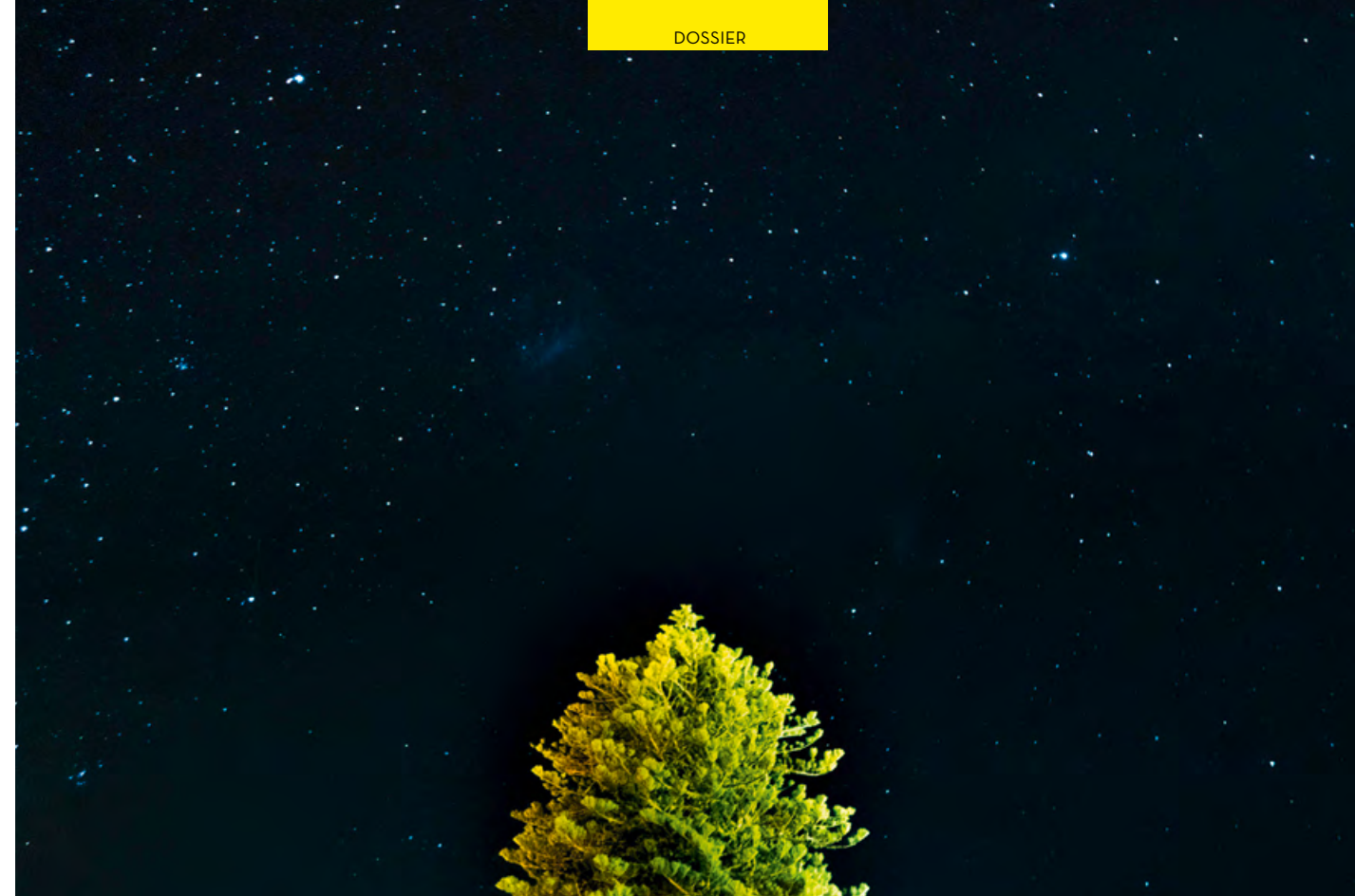
Les molécules organiques existent sous deux formes miroirs l'une de l'autre, comme le sont nos mains gauche et droite. Elles sont dites chirales. Cependant, les êtres vivants n'en utilisent qu'une forme : la vie est "homochirale". Cette homochiralité est essentielle au bon fonctionnement de la biochimie et elle est universelle. C'est pourquoi les chercheurs la considèrent comme un biomarqueur très fiable. Mais pour la détecter à distance, il faut s'en remettre à l'empreinte qu'elle laisse sur la lumière. Par exemple à l'occasion de la photosynthèse.

"Le but de Mermoz, c'est de déterminer si la polarisation circulaire que l'on observe en laboratoire est visible aussi à l'échelle d'une planète", précise Olivier Poch, à l'institut de planétologie et d'astrophysique de Grenoble. Première étape : bien caractériser en labo cette polarisation, qui diffère selon les organismes. "Je suis en train de dresser un catalogue qui nous servira de référence par la suite. Là par exemple, j'ai un sapin devant moi : sa signature en lumière polarisée est très nette", explique le chercheur. En plus de la végétation récupérée dans la forêt,

il s'intéresse aux bactéries pigmentées comme les halophiles (responsables de la couleur violette des marais salants), ou aux microalgues. Sachant que les microorganismes dans l'eau ont été les seuls êtres vivants sur Terre pendant des milliards d'années, les deux pourraient être particulièrement intéressantes pour la recherche d'une vie primitive...

"Nous faisons aussi des mesures sur le terrain, avec le prototype d'un instrument que nous aimerions installer sur la station spatiale internationale (ISS)", indique Brice-Olivier Demory. Vus du toit d'un immeuble ou d'un hélicoptère, les arbres d'une forêt se distinguent nettement du gazon synthétique d'un terrain de foot (qui ne polarise pas la lumière). Reste que même dans les meilleurs cas, la fraction de lumière réfléchie qui est polarisée est toujours très faible. "Environ un photon sur mille", précise Olivier Poch. Concevoir un instrument assez sensible pour capter ce photon lorsqu'il vient d'une autre planète, voilà toute la difficulté du projet Mermoz. "Ce que nous voudrions vérifier depuis l'ISS, c'est que les forêts, les océans et son phytoplancton, ou encore les glaciers où pullulent certaines algues rouges présentent bien une signature polarisée", explique Brice-Olivier Demory. Si tout se passe bien, l'instrument pourrait être lancé en 2023-2024. Ensuite, il sera temps de réfléchir à une version embarquée sur une sonde spatiale ou installée sur un grand télescope.

"Aujourd'hui, il y a moins de cinq groupes dans le monde qui travaillent sur les techniques de polarimétrie pour la



recherche de la vie ailleurs. C'est en partie parce qu'en astrophysique, la plupart des télescopes sont conçus pour la spectroscopie [on s'intéresse à l'intensité du rayonnement en fonction de la longueur d'onde, NDLR], pas pour la polarimétrie. Or il est très difficile d'intégrer un polarimètre à un télescope qui n'est pas pensé pour ça dès le départ. Par ailleurs, les polarimètres qui existent mesurent la polarisation linéaire, pas celle qui nous intéresse, la circulaire" souligne l'astrophysicien. Les calculs montrent que, pour détecter cette biosignature sur Proxima Centauri b, à supposer que la planète soit couverte de végétation, il faudra utiliser un télescope de la taille de l'ELT. "Nous essayons de voir si notre concept d'instrument pourrait être adapté à cet instrument", révèle Brice-Olivier Demory. Bien sûr, il ne fait aucun doute que les chercheurs tenteront aussi de détecter des signes d'homochiralité dans les geysers des lunes glacées de Jupiter ou de Saturne, jaillissant d'océans subglaciaires où pourrait pulluler la vie. "D'ici une décennie, peut-être..."

Quoi qu'il en soit, l'intérêt du projet n'est plus à démontrer. "La polarisation circulaire peut permettre de faire la différence entre des surfaces biologiques et abiotiques qu'un simple spectre ne permettrait pas de discriminer", insiste Olivier Poch. Il prend comme exemple le Vegetation's Red Edge (VRE), cette marche bien visible dans le spectre des forêts terrestres : "Dans celui de Io, on observe aussi un magnifique VRE, mais il est dû au soufre !" Idem sur Mars, qui exhibe un VRE

provoqué par les oxydes de fer. "En fait, tous les semi-conducteurs ont ce genre de signature. Il y a une très forte absorption aux courtes longueurs d'onde, qui cesse brutalement et rend le matériau fortement réfléchissant, d'où la marche. Donc même si on détectait un VRE sur une exoplanète, on ne serait pas du tout sûr qu'il soit lié à de la végétation ! Par contre, si on était capable de mesurer sa polarisation, on pourrait lever l'ambiguïté." Autre application beaucoup plus concrète : "Le projet Mermoz comporte désormais un volet médical" révèle Brice-Olivier Demory. Il se trouve que la polarisation circulaire permet de distinguer les tissus sains des tissus malades dans les tumeurs du cerveau. "C'est très intéressant car les chirurgiens ont souvent du mal à délimiter à l'œil ce genre de tumeur lors des opérations", explique l'astrophysicien. Il travaille avec son équipe à une version de son instrument qui serait utilisable dans les blocs opératoires. Qui a dit que la recherche de la vie extraterrestre était une perte de temps ?

DAVID FOSSÉ

- (1) Écouter à ce propos notre podcast sur <https://www.cieletespace.fr/actualites/podcast-la-photosynthese-moteur-de-la-biosphere>
- (2) Un laboratoire Université Grenoble Alpes-CEA-INRAE-CNRS
- (3) Contre 25 000 gènes pour la petite arabelle, plante modèle de la biologie moléculaire... et pour le génome humain.
- (4) Acronyme de « Monitoring planetary Surfaces with Modern polarimetric characterization », il s'agit d'un partenariat entre les universités de Berne en Suisse, et de Leiden et Delft aux Pays-Bas.