

émis par des extraterrestres pour communiquer à travers l'espace interstellaire : facilement discernables des signaux associés aux phénomènes naturels, ils nous permettraient de localiser une vie intelligente ailleurs que sur la Terre. Cependant les surveillances de systèmes planétaires lointains n'ont révélé aucun signal, ce qui indique que les extraterrestres qui maîtrisent les radiocommunications interstellaires ne sont pas légion.

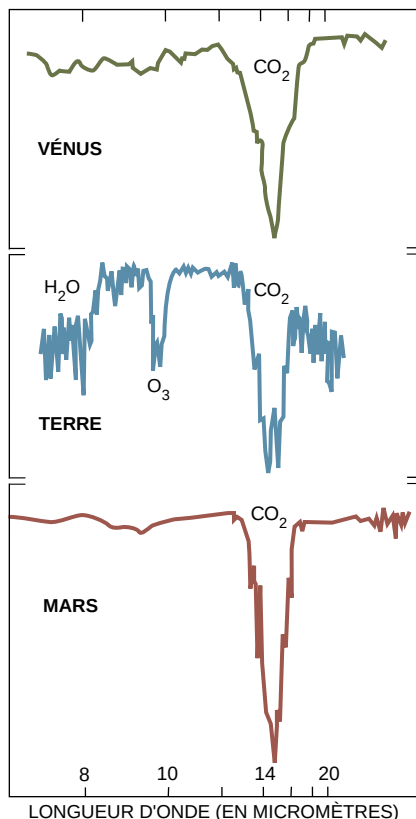
Des planètes abritent-elles alors des formes de vie moins évoluées ? Afin de chercher les traces d'organismes très simples, nous avons proposé un nouveau type de télescope.

Sur notre planète, les formes de vie les plus simples ont modifié l'environnement d'une façon qui serait perceptible par un observateur lointain : au cours du milliard d'années qui a suivi la formation de la Terre, dès la fin du bombardement intensif par les astéroïdes, des organismes primitifs comme les bactéries et les algues avaient recouvert la quasi-totalité du Globe. Ces organismes constituèrent la seule vie terrestre pendant les deux milliards d'années suivants ; par conséquent, si la vie existe sur d'autres planètes, elle pourrait très bien se trouver sous cette forme.

Les algues et l'atmosphère

Les algues bleu-vert terrestres ne maîtrisent pas les communications radio, mais elles modifient la chimie du Globe : en proliférant, elles ont progressivement enrichi l'atmosphère en oxygène. Plus généralement, les organismes les plus élémentaires consomment de l'eau, de l'azote et du dioxyde de carbone, et libèrent de l'oxygène dans l'atmosphère. Or l'oxygène est un gaz chimiquement réactif, dont la concentration chuterait sans un apport continu par les algues et, plus tard dans l'évolution terrestre, par les plantes. Aussi l'abondance d'oxygène dans l'atmosphère d'une planète est un bon indicateur de l'existence d'une forme de vie carbonée.

L'oxygène présent sur une planète modifie le rayonnement de cette dernière. Ainsi une partie de la lumière solaire atteignant la surface terrestre est réfléchie, vers l'espace, à travers l'atmosphère. L'oxygène atmosphérique absorbe une partie de ce rayonnement, de sorte qu'un observateur extraterrestre étudiant par spectro-



2. LA SIGNATURE INFRAROUGE DE LA VIE ne s'observe que sur la Terre : si Vénus, la Terre et Mars possèdent tous trois une atmosphère riche en dioxyde de carbone (CO_2), seule la Terre contient en abondance de l'eau (H_2O) et de l'ozone (O_3), une forme d'oxygène que l'on trouve habituellement dans la haute atmosphère. L'eau est indispensable au maintien d'une vie carbonée ; l'oxygène est un signe de sa présence. Le rayonnement infrarouge émanant de planètes membres de systèmes planétaires lointains pourrait dévoiler d'autres mondes semblables au nôtre.

scopie la lumière réfléchie par la Terre détecterait la présence de l'oxygène.

En 1980, à l'Université d'État de Stony Brook, Toby Owen proposa de rechercher la vie extraterrestre en analysant la lumière rouge réfléchie par les planètes. Puis, en 1993, C. Sagan utilisa le vaisseau spatial *Galileo* pour enregistrer le spectre distinctif de l'oxygène dans la région rouge de la lumière réfléchie par la Terre. Ce signe de vie existe depuis plus de 500 millions d'années. Est-il parfaitement convaincant ?

Des planètes sans vie ne pourraient-elles néanmoins contenir une source non biologique d'oxygène ? Et d'autres formes de vie pourraient-elles ne pas produire d'oxygène ? Des arguments convaincants nous conduisent à supposer que la vie sur d'autres planètes serait fondée sur une chimie semblable à la nôtre, car le carbone se prête remarquablement bien à la construction de

la vie ; il est abondant dans l'Univers, et aucun autre élément connu ne peut former la myriade de molécules stables qui sont nécessaires à la vie que nous connaissons.

À la recherche d'une autre Terre

La présence d'eau sur notre planète a manifestement favorisé le développement de la vie. L'eau est un solvant où les réactions biochimiques se déroulent et elle sert de source d'hydrogène pour la matière vivante. Aussi les planètes comparables à la Terre, en taille et en distance par rapport à leur étoile, sont les pouponnières de vie carbonée dans les autres systèmes planétaires, parce que ces mondes pourraient contenir de l'eau liquide. Trop proches de l'étoile, les planètes sont glacées, et trop éloignées, elles ne contiennent que de la vapeur d'eau.

On peut facilement estimer « l'orbite d'or », c'est-à-dire la distance à laquelle la vie peut se développer comme elle l'a fait sur la Terre. Pour une grosse étoile chaude, 25 fois plus brillante que notre Soleil, une planète rocheuse comme la Terre occuperait à peu près l'orbite de Jupiter. Pour une petite étoile froide, dix fois moins brillante que le Soleil, la bonne orbite serait celle de Mercure.

Toutefois la distance de la planète à son étoile n'est pas une condition suffisante pour l'existence de la vie. L'attraction gravitationnelle de la planète doit, en outre, retenir des océans et une atmosphère. Si la distance à l'étoile était le seul facteur important, la Lune posséderait de l'eau liquide. Or la gravité dépend de la densité et de la taille du corps : comme la Lune est plus petite et moins dense que la Terre, son attraction gravitationnelle est bien inférieure : toute pellicule d'eau ou toute atmosphère qui s'y constituerait s'échapperait rapidement dans l'espace.

Inversement, les grosses planètes attirent les gaz de l'espace. On suppose que Jupiter a crû ainsi, accumulant une énorme enveloppe d'hydrogène et d'hélium. De ce fait, la vie terrestre ne semble pas pouvoir exister sur des planètes gazeuses massives comme Jupiter.

Si nous connaissons assez bien le type de planètes pouvant abriter la vie, nous n'avons encore découvert que peu de planètes autour d'étoiles lointaines, car les meilleures méthodes de détection de ces corps célestes sont fondées

Nouvelles planètes autour d'autres soleils

Encore récemment, les astronomes ne disposaient d'aucune preuve directe de l'existence de planètes autour d'autres étoiles que le Soleil, mais en octobre 1995, Michel Mayor et Didier Queloz, de l'Observatoire de Genève, ont annoncé la détection d'une planète massive autour de l'étoile de type solaire 51 Pegasi. Geoffrey Marcy et Paul Butler, de l'Université de San Francisco, confirmèrent la découverte et, six mois plus tard, découvrirent trois autres corps autour d'étoiles similaires. Plus récemment, George Gatewood a découvert par astrométrie une planète analogue à Jupiter à 2,5 unités astronomiques de l'étoile Lalande 21185.

Personne n'a encore vu ces mondes extraterrestres ; tous trois furent identifiés indirectement, par la mesure de leur influence sur le mouvement de leur étoile. Quand un objet tourne autour d'une étoile, son attraction gravitationnelle fait osciller l'étoile. Ce mouvement crée un déplacement périodique, nommé décalage Doppler, du spectre de l'étoile observé de la Terre. Du décalage, on déduit la dimension et la forme de l'orbite du compagnon ; de l'amplitude du décalage, on déduit la masse minimale du compagnon. Aucune autre particularité (température ou composition, par exemple) n'est révélée par la technique Doppler.

Les planètes nouvellement découvertes ne ressemblent à rien de connu jusqu'ici. Celle qui accompagne 51 Pegasi est la plus étrange : deux fois moins massive que Jupiter, elle n'est éloignée de son étoile que de sept millions de kilomètres, soit moins d'un huitième de la distance Mercure-Soleil. À cette petite distance, la température superficielle de la planète devrait atteindre 1 300 degrés. La période orbitale est égale à 4,2 jours.

L'une des planètes découvertes par G. Marcy et P. Butler tourne autour de l'étoile 47 Ursae Majoris, et cet objet présente des caractéristiques moins extrêmes. Elle parcourt en trois ans une orbite circulaire à environ 300 millions de kilomètres de son étoile (correspondant à une orbite entre celles de Mars et de Jupiter), et sa masse est au minimum 2,3 fois celle de Jupiter ; dans notre Système solaire, elle ne semblerait pas particulièrement étrange.

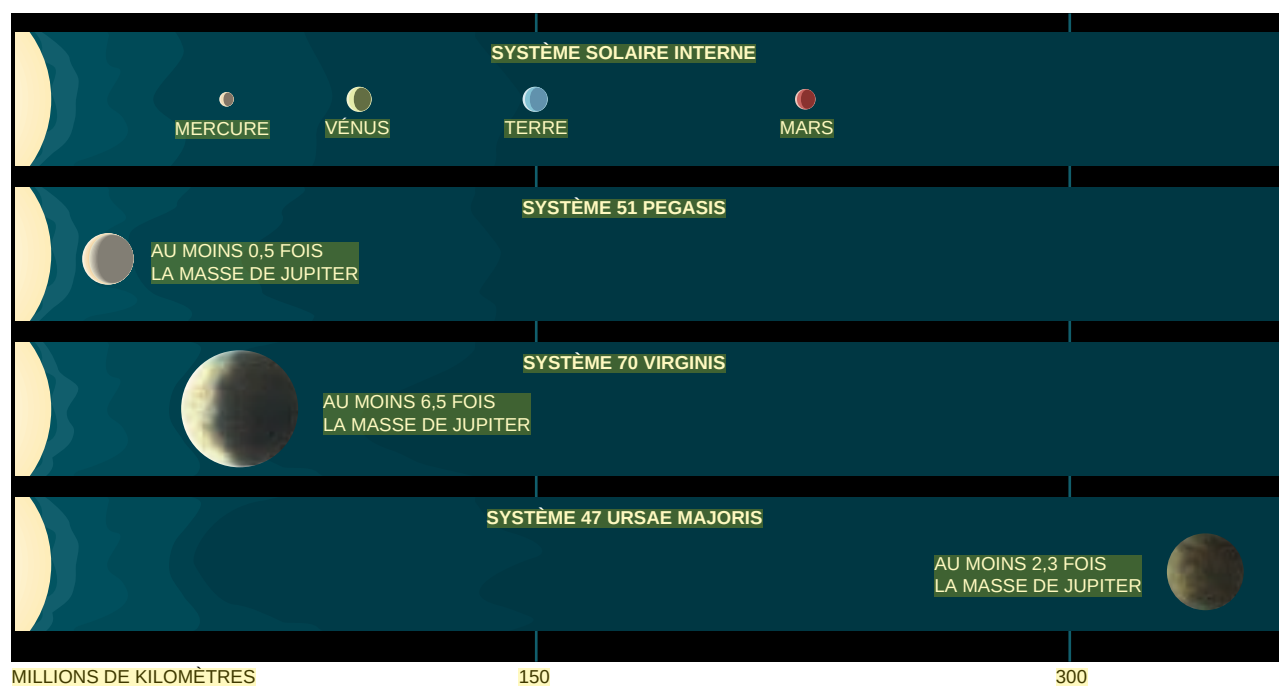
Le troisième objet, également identifié par G. Marcy et P. Butler, tourne autour de l'étoile 70 Virginis. Cette « planète » diffère sensiblement des deux autres. Elle est la plus massive du groupe, avec une

masse plus de 6,5 fois supérieure à celle de Jupiter, et son orbite, parcourue en 117 jours, est très elliptique. G. Marcy prétend qu'elle occupe la « zone d'or » : sa distance permettrait l'existence d'eau à l'état liquide. Malgré cette hypothèse optimiste, la planète possède sans doute une épaisse atmosphère qui bloque l'apparition de la vie. De surcroît, sa grande masse et son orbite elliptique font penser qu'il s'agit d'une naine brune, un objet gazeux qui se forme un peu comme une étoile mais ne possède pas suffisamment de masse pour briller.

Pourquoi les astronomes ne découvrent-ils que des objets massifs sur des orbites de périodes relativement courtes ? Parce que ce sont les plus faciles à détecter par la technique Doppler. Observer une planète sur une orbite lente, comme celle de Jupiter, nécessiterait au moins dix ans d'observations. Aussi cherche-t-on d'autres planètes à l'aide du phénomène de lentille gravitationnelle, par lequel la gravité d'une étoile amplifie temporairement la lumière d'une étoile plus lointaine, située dans la même direction. Si l'étoile qui fait office de lentille cosmique possède des planètes, ces dernières pourraient modifier la courbe de lumière (la variation de l'éclat au cours du temps) observée. De nombreuses étoiles pouvant être observées en même temps, cette approche pourrait fournir une statistique de l'abondance des planètes. Malheureusement, cette méthode ne peut servir à détecter des planètes autour d'étoiles proches.

Une autre possibilité consiste à rechercher directement le rayonnement réfléchi par de grosses planètes autour d'autres étoiles. Normalement l'atmosphère terrestre rendrait irrémédiablement floue l'image de l'étoile et de la planète. L'optique adaptative, une technique qui élimine les perturbations atmosphériques, peut pallier cette difficulté. Théoriquement un système d'optique adaptative conçu par Roger Angel et amélioré par David Sandler et Steve Stahl, de la Société *Thermotrex*, pourrait prendre une image d'une grosse planète à la distance de Jupiter en une seule nuit d'observation.

Les planètes nouvellement découvertes ne représentent que le sommet de l'iceberg. Des observations ininterrompues, une analyse minutieuse des données et des techniques perfectionnées, telle l'interférométrie spatiale, multiplieront bientôt le nombre de découvertes, nous procurant une meilleure perception de la réelle variété de ces mondes.



sur l'observation de leur étoile : les astronomes recherchent les variations d'éclat ou d'orbite qui ne peuvent s'expliquer que par la présence de planètes. Malheureusement ces observations indirectes des planètes nous renseignent peu sur leurs caractéristiques. Toutes les techniques indirectes ne révèlent que la masse et la position des corps célestes ; prouver qu'ils abritent des habitants demeure impossible.

Voir dans l'infrarouge

Une autre technique donnerait-elle des indications sur la nature des composés présents sur les planètes ? Nous avons vu que le rayonnement d'une planète peut révéler la présence de certaines molécules vitales, telle la molécule d'oxygène. Mais repérer les faibles signaux de l'oxygène dans la lumière réfléchie par une petite planète serait extrêmement difficile, même pour un système planétaire qui serait proche du Système solaire.

Comme les étoiles sont des milliards de fois plus brillantes que les planètes qui peuvent les accompagner, la détection d'une planète par obser-

vation directe serait aussi difficile que la recherche d'un ver luisant près d'un projecteur, à des milliers de kilomètres de nous. Et si nous pouvions recueillir spécifiquement la lumière réfléchie par une planète, la signature de l'oxygène dans son spectre visible serait faible et remarquablement difficile à isoler.

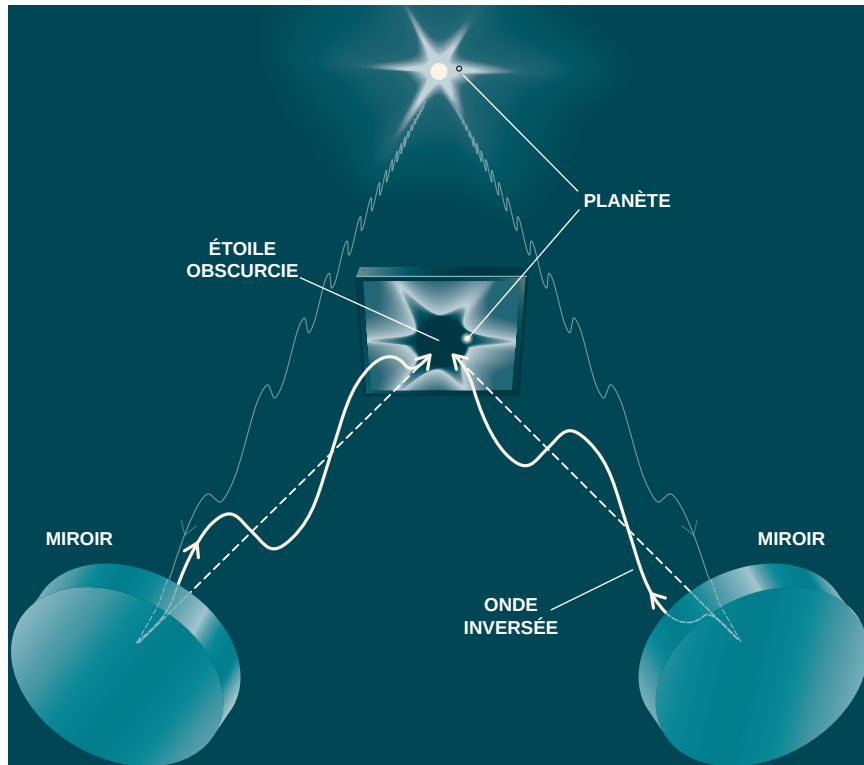
Avec Andrew Cheng, de l'Université de Hong Kong, nous avons cherché à résoudre ce problème et, en 1986, nous avons proposé de rechercher une vie extraterrestre par le rayonnement infrarouge émis par les planètes. Ce type de rayonnement, qui correspond à la chaleur dégagée par la planète, a une longueur d'onde 10 à 20 fois supérieure à celle de la lumière visible. Les planètes en émettent environ 40 fois plus qu'aux longueurs d'onde plus courtes, de sorte que l'étoile voisine n'éclipse plus la planète «que» d'un facteur dix millions : c'est 1 000 fois mieux qu'avec la lumière rouge.

En outre, le spectre infrarouge contiendrait la signature de trois composés qui apparaîtraient ensemble sur des planètes habitées : l'ozone (une forme d'oxygène habituellement loca-

lisée dans la haute atmosphère), le dioxyde de carbone et l'eau. De nouveau, notre Système solaire a servi de banc d'essai : une étude de l'émission infrarouge des planètes de notre voisinage a montré que seule la Terre présente la signature infrarouge de la vie (voir la figure 2). Bien que la Terre, Mars et Vénus possèdent toutes trois des atmosphères contenant du dioxyde de carbone, seule la Terre porte la trace d'eau et d'ozone en abondance.

De quelle sorte de télescope avons-nous besoin pour localiser des planètes de type terrestre et analyser leurs émissions infrarouges ? Certains des télescopes qui sont aujourd'hui en fonctionnement, sur la Terre, peuvent détecter l'intense rayonnement infrarouge émanant des étoiles, mais la chaleur émise par notre atmosphère et par le télescope lui-même noierait complètement tout signal d'une planète. Même l'Antarctique n'est pas assez froid pour que nous prenions une image aussi faible. Et même si l'on refroidissait le télescope à une température inférieure à -225 degrés Celsius, la lumière s'imprégnerait des caractéristiques de l'ozone, du dioxyde de carbone et de l'eau en traversant l'atmosphère terrestre. Nous devons indéniablement transporter le télescope dans l'espace.

D'autre part, pour distinguer le rayonnement de la planète de celui de son étoile, un télescope classique devrait être beaucoup plus grand que n'importe quel instrument au sol ou en orbite construit à ce jour. La lumière ne pouvant être focalisée en un point plus petit que sa longueur d'onde, la lumière d'un point distant dans le ciel peut, au mieux, être focalisée en un centre diffus entouré d'un faible halo ; même un miroir parfait ne peut former d'images parfaites. Or si le halo circumstellaire s'étend au-delà de l'orbite de la planète, on ne discernera pas cette dernière. En accroissant la taille du miroir et celle de l'image résultante, nous pouvons en principe mettre au point autant que nous le désirons l'image de l'étoile, mais la taille de l'équipement nécessaire pour atteindre une telle résolution rend le projet irréalisable. On sait calculer la performance des télescopes et prévoir la qualité des images qu'ils formeront. Par exemple, pour observer le spectre infrarouge d'une planète terrestre tournant autour d'une étoile distante de 30 années-lumière, on devrait employer un énorme télescope spatial de près de 60 mètres de diamètre !



3. LA LUMIÈRE D'UNE PLANÈTE n'est perceptible que si l'on élimine la lumière de l'étoile autour de laquelle tourne la planète. Deux télescopes braqués sur la même étoile (en haut) peuvent éliminer la majeure partie de sa lumière si un télescope inverse la lumière, transformant les crêtes en creux, et vice versa (à droite). Lorsque la lumière inversée est combinée avec la lumière stellaire donnée par le second télescope (à gauche), les ondes lumineuses interfèrent et l'image de l'étoile disparaît (au centre).