

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.

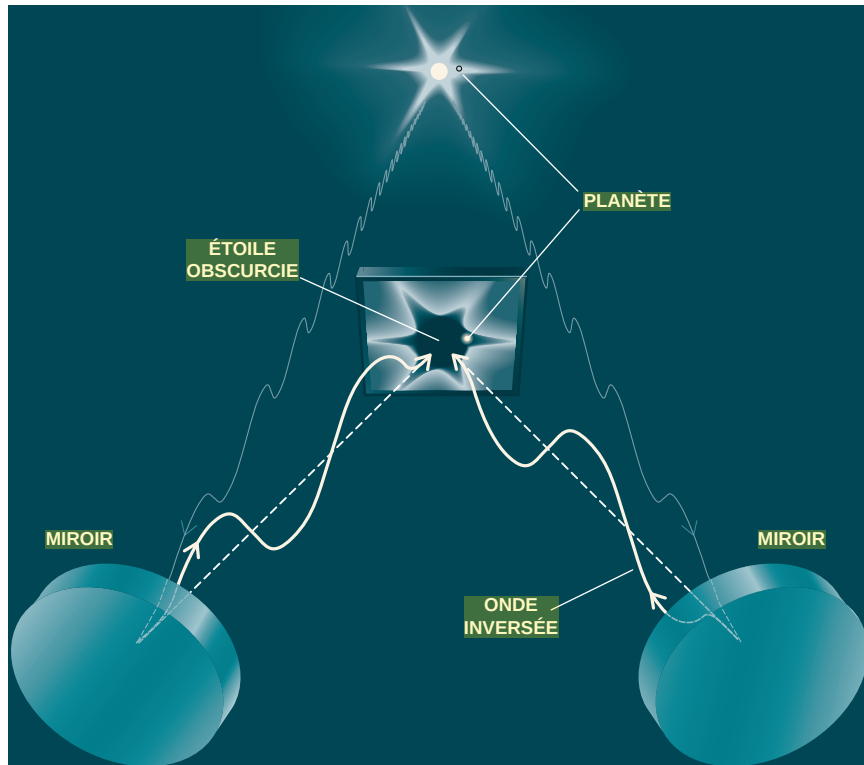
Avec Andrew Cheng, de l'Université de Hong Kong, nous avons cherché à résoudre ce problème et, en 1986, nous avons proposé de rechercher une vie extraterrestre par le rayonnement infrarouge émis par les planètes. Ce type de rayonnement, qui correspond à la chaleur dégagée par la planète, a une longueur 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-

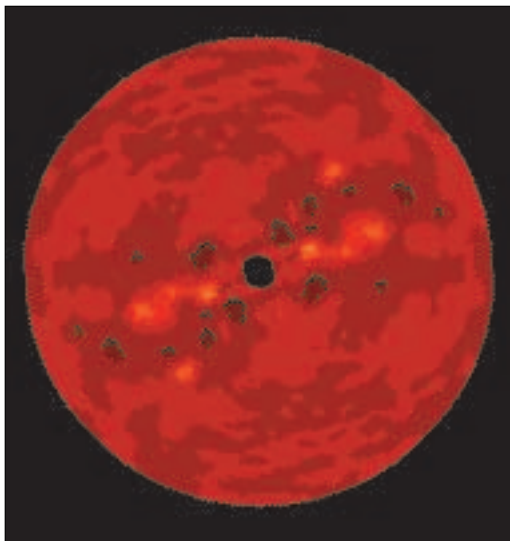
lisée dans la haute atmosphère), le dioxyde de carbone et l'eau. De nouveau, notre Système solaire a servi de banc d'essai : une étude de l'émission infrarouge des planètes de notre voisinage a montré que seule la Terre présente la signature infrarouge de la vie (voir la figure 2). Bien que la Terre, 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).



**4. L'IMAGE DE PLANÈTES LOINTAINES**, obtenue à partir de signaux interférométriques simulés, montre ce que les astronomes espèrent voir avec un télescope spatial. Cette étude présente un système distant d'environ 30 années-lumière, composé de quatre planètes à peu près aussi lumineuses que la Terre (chaque planète apparaît deux fois, une image de part et d'autre de l'étoile).

## Réinventer le télescope

Les télescopes classiques étant insuffisants, quel nouvel instrument peut-on utiliser ? Il y a 23 ans, à l'Université de Stanford, Ronald Bracewell montra comment adapter deux petits télescopes pour rechercher de grosses planètes froides semblables à Jupiter. L'instrument qu'il proposait se composait de deux télescopes de un mètre de diamètre, séparés de 20 mètres. Chaque télescope aurait fourni une image floue qui n'aurait jamais permis à R. Bracewell de résoudre les images faibles des planètes, mais il en imagina une astucieuse combinaison.

Il proposa de pointer les deux télescopes sur la même étoile et d'inverser les ondes lumineuses de l'un des télescopes, transformant les crêtes en creux, et vice versa. La première image étant alors l'inverse de la seconde, leur recouvrement précis annulerait la lumière de l'étoile, halo compris (l'énergie étant conservée, la lumière ne disparaîtrait pas, mais apparaîtrait dans une autre partie de l'instrument). On nomme interféromètre ce type de dispositif, qui révèle des détails de la source lumineuse à partir d'une interférence des ondes lumineuses.

L'interféromètre de R. Bracewell n'obscurcit une étoile que si celle-ci est perpendiculaire à la ligne joignant les centres des deux télescopes : c'est seulement dans cette configuration que les

deux télescopes reçoivent exactement le même train d'ondes lumineuses de l'étoile. Aussi R. Bracewell avait proposé de balayer le ciel avec l'instrument et de repérer le moment où l'étoile observée s'éteint.

À ce moment, une planète accompagnant l'étoile ne sera pas alignée avec le dispositif, de sorte que les deux télescopes enregistreront son rayonnement : si de la lumière traverse l'interféromètre alors que l'image de l'étoile est éteinte, nous saurons qu'une source de rayonnement infrarouge – peut-être une planète – existe au voisinage de l'étoile. Nous pourrions analyser ce signal en tournant l'interféromètre autour de l'axe joignant l'instrument et l'étoile ; l'intensité de l'image variera avec la rotation du dispositif, et les planètes seront repérables à une variation reconnaissable de la

luminosité (voir la figure 5).

Après avoir conçu cet interféromètre, R. Bracewell comprit que l'obstacle principal à la localisation d'une planète comme Jupiter ne venait pas de la lumière beaucoup plus intense de l'étoile voisine, mais de la chaleur rayonnée par les poussières de notre Système solaire. En raison de cette « lumière zodiacale », le faible signal d'une planète lointaine serait quasi imperceptible sur ce fond éclatant. Une planète n'apparaîtrait qu'au prix du moyennage des données sur au moins un mois. De surcroît, l'interféromètre initial de R. Bracewell n'élimine pas parfaitement la lumière stellaire, de sorte que de la lumière stellaire s'insinue le long des bords et gêne l'observation des petites planètes faibles comme la Terre.

Pour pallier ces inconvénients, de nombreux astronomes ont imaginé de nouvelles méthodes. L'un de nous (R. Angel) proposa, en 1990, d'utiliser quatre miroirs en réseau, afin de mieux supprimer la lumière stellaire. Toutefois l'élimination de la lumière zodiacale nécessitait des miroirs de huit mètres de diamètre. Alain Léger et ses collègues français M. Mariotti, J.-C. Puget, D. Rouan et J. Schneider ont proposé la première solution pratique à cette complication : ils ont imaginé d'installer le dispositif sur une orbite héliocentrique, à peu près à la même distance que Jupiter,

## L'UNIVERS DES SCIENCES

### LES HORLOGES DE LA VIE



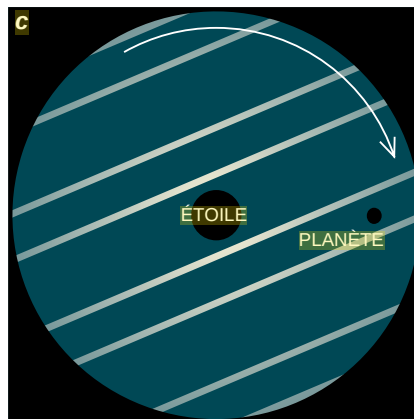
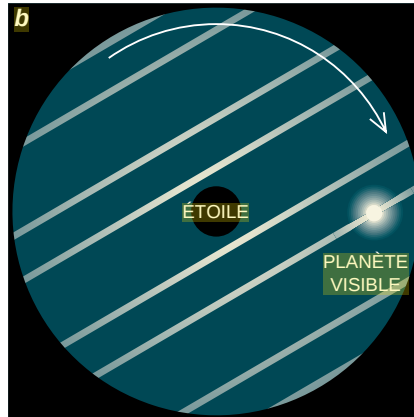
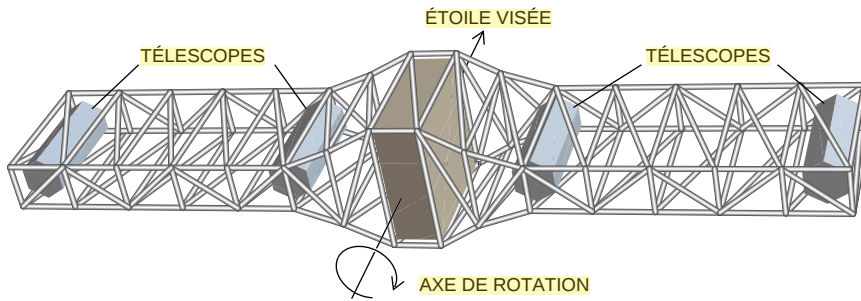
## LES HORLOGES DE LA VIE

Des horloges internes déterminent la durée de notre sommeil et commandent plusieurs de nos fonctions physiologiques. Quand nous subissons un décalage horaire, ces horloges se recalent sur les variations lumineuses associées aux levers et aux couchers du soleil. L'un des meilleurs spécialistes des rythmes biologiques, Arthur Winfree, nous révèle le monde mathématique simple de ces resynchronisations.

192 pages – 190 F  
Code 1860

POUR LA  
**SCIENCE**  
DIFFUSION BELIN

Bon de commande en p. 98



**5. UN INTERFÉROMÈTRE ROTATIF** pourrait révéler l'existence d'une planète autour d'une étoile lointaine. Les quatre télescopes produiraient une vue du ciel partiellement obscurcie par de nombreuses bandes ; l'étoile à masquer serait dissimulée par une bande. Lors d'une rotation de l'interféromètre autour d'un axe joignant le centre du dispositif à l'étoile, les bandes sombres tourneraient également. Une planète voisine serait alternativement masquée, puis découverte (a-c). L'analyse des clignotements permettrait de déterminer la distance séparant la planète de son étoile.

de sorte que le télescope serait naturellement refroidi et que la lumière zodiacale serait minimisée. En raison de la diminution de la lumière de fond, l'interféromètre orbital pourrait être réduit : quatre télescopes de un mètre de diamètre chacun constitueraient un instrument sensible, avec toutefois un inconvénient : il éliminerait si efficacement la lumière stellaire qu'il masquerait parfois une planète proche.

Cette idée a fait l'objet, sous le nom de *Mission Darwin*, d'une proposition de l'Agence spatiale européenne. Elle a été retenue comme l'une des trois pierres angulaires possibles de l'Agence pour les années 2015. En attendant, le CNES décidera peut-être d'un projet plus modeste, nommé *Corot*, pouvant également détecter, par occultation, des planètes de la taille de la Terre sur des orbites analogues à celle de Mercure, ou plus serrées encore.

Enfin, le 7 mai 1996, le CNRS a créé une action spécifique « Planètes extrasolaires ».

Puis, en 1995, la NASA lança un appel d'offres pour l'exploration d'autres systèmes planétaires et sélectionna finalement trois équipes afin de comparer différentes techniques de détection. Nous avons constitué une équipe avec R. Bracewell, A. Léger, Jean-Marie Mariotti et une vingtaine d'autres scientifiques et ingénieurs. Nous avons notamment conçu un interféromètre comportant deux paires de miroirs disposés en ligne droite. Chaque paire de miroirs obscurcira l'image principale de l'étoile, et chaque paire éliminera en outre la lumière parasite de l'autre paire.

Cet interféromètre pourrait atteindre 50 à 75 mètres de longueur.

Avec une telle configuration, les signaux de planètes sont complexes et caractéristiques, et une méthode d'analyse appropriée permettra d'utiliser les données de l'interféromètre pour reconstruire l'image d'un système solaire lointain (voir la figure 4). Cet interféromètre orbital pourrait observer chaque jour une étoile différente, revenant parfois à des systèmes intéressants pour des observations plus approfondies.

S'il était pointé sur notre Système solaire à partir d'une étoile voisine, l'interféromètre repèrerait Vénus, la Terre, Mars, Jupiter et Saturne, et l'analyse des données révélerait la composition chimique de l'atmosphère de chaque planète. De notre Système solaire, le dispositif pourra facilement étudier la planète récemment découverte autour de l'étoile 47 Ursae Majoris. De surcroît, il pourra identifier des planètes de type terrestre qui, autrement, nous échapperaient, et rechercher la présence de dioxyde de carbone, d'eau et d'ozone sur toutes ces planètes.

Un tel instrument pourrait être construit en collaboration avec des astronomes de plusieurs pays. Nous estimons le coût de ce projet à moins de deux milliards de dollars, soit dix pour cent du budget de la NASA consacré à la recherche spatiale pour les dix prochaines années. La découverte de la vie sur une autre planète serait le couronnement de l'exploration spatiale.

La technique nécessaire à cette découverte est à notre portée. Après des siècles d'interrogations, nous devrions bientôt être à même de savoir si nous sommes les seuls êtres vivants dans l'Univers.

Roger ANGEL et Neville WOOLF sont astronomes à l'Université de l'Arizona.

J. Roger P. ANGEL, *Use of a 16 Meter Telescope to Detect Earthlike Planets*, in *The Next Generation Space Telescope*, sous la direction de P. Bely et C.J. Borrows, Space Telescope Science Institute, Baltimore, 1990.

*La vie dans l'Univers*, numéro spécial de *Pour la Science*, décembre 1994.

A. LÉGER, M. MARIOTTI, J.-C. PUGET, D. ROUAN et J. SCHNEIDER, *How Detect Signs of Primitive Life on Exoplanets*, *The Darwin Mission*, in *Astrophysics and Space Science*, vol. 233, janvier 1995.