

de longueur d'onde par un spectromètre. Ainsi, pour une même taille de planète, la méthode des vitesses radiales exige des télescopes plus gros que la méthode photométrique. Un télescope de un mètre suffit pour détecter une planète de la taille de Jupiter, qui entraîne une baisse de luminosité de son étoile de l'ordre de un pour cent. En revanche, une planète de la taille de la Terre entraîne une diminution de l'ordre de 0,01 pour cent, qu'aucun des plus grands des télescopes actuels ne peut détecter, sauf si on utilise des astuces d'observation pour la détection du signal.

La méthode des transits présente un autre avantage : dès que l'observateur, la planète et l'étoile sont alignés, les transits sont détectés aussi facilement pour des planètes éloignées que pour des planètes proches de l'étoile. Comparée aux années-lumière qui séparent l'étoile de la Terre, la

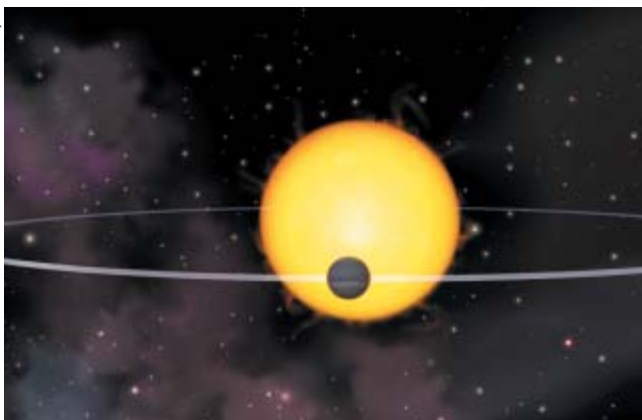
distance entre la planète et l'étoile est insignifiante ; elle pourrait varier de façon importante sans que notre perception de l'atténuation change. En revanche, la sensibilité de la méthode des vitesses radiales diminue avec la racine carrée de la distance entre la planète et l'étoile, car les planètes lointaines exercent une attraction gravitationnelle plus faible sur leur étoile. Cela explique pourquoi la plupart des planètes découvertes par cette méthode sont en orbite rapprochée et sont, le plus souvent, des corps massifs, de la taille de Jupiter.

Quelles autres planètes autour des autres soleils ?

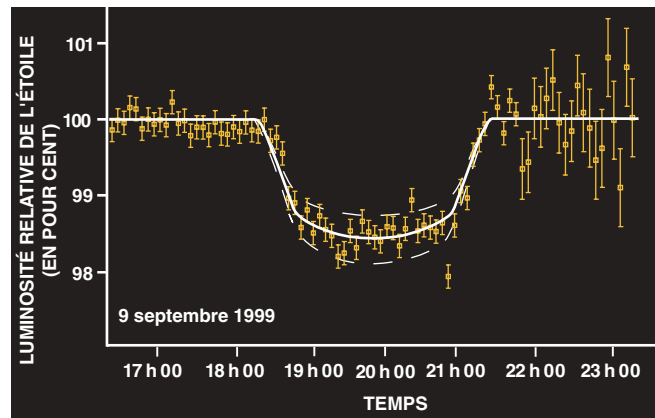
L'augmentation de la distance entre la planète et son étoile réduit la probabilité d'alignement, puisque cette dernière est égale au rapport du rayon de l'étoile sur la distance entre l'étoile et

sa planète. Par exemple, la probabilité qu'un astronome extraterrestre soit correctement situé pour observer le passage de la Terre sur son orbite actuelle devant le Soleil ne dépasse pas 0,5 pour cent. C'est pourquoi la méthode des transits a été longtemps négligée. Elle a connu un regain d'intérêt après la découverte de planètes géantes extrasolaires très proches de leur étoile mère. Les orbites rapprochées augmentent la probabilité d'alignement d'un facteur dix. Cette découverte était inattendue, car les planètes géantes de notre Système solaire sont localisées sur des orbites lointaines. De surcroît, l'introduction de systèmes d'imagerie à grand champ, capables de suivre des centaines de milliers d'étoiles à la fois, a aussi ravivé l'intérêt pour la méthode des transits. Plus les étoiles surveillées sont nombreuses, plus les chances d'observer des occultations augmentent. Les astronomes établissent ainsi la liste des

Alfred T. Kamajian

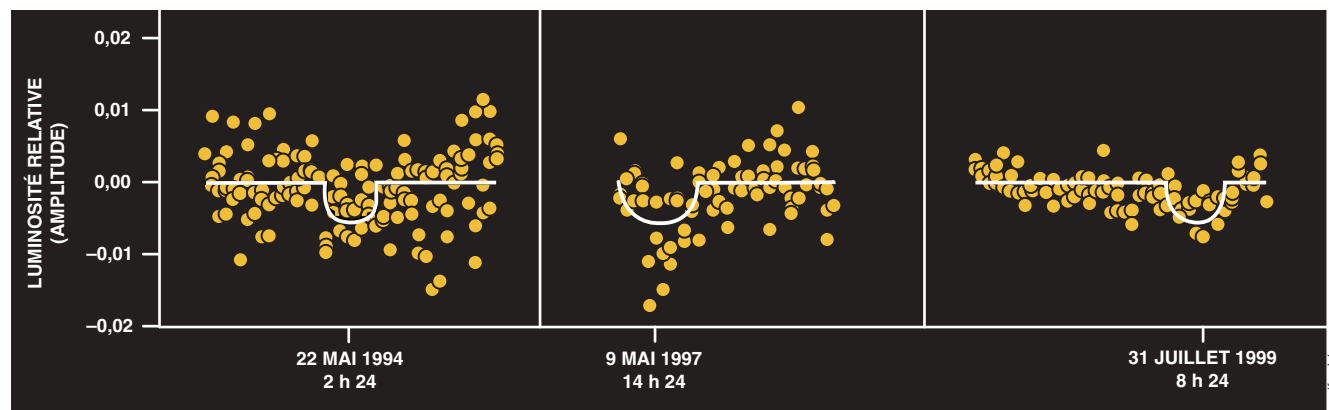


3. LE PREMIER SUCCÈS de la méthode des transits a été la confirmation de la présence d'une planète autour de l'étoile de type solaire HD 209458 (à gauche). La diminution de 1,8 pour cent de la luminosité de l'étoile (les points du schéma à droite avec les barres d'erreurs) apparaît sans ambiguïté. Elle indique la présence d'une planète dont le diamètre vaut 1,3 fois celui de Jupi-



Jennifer Johansen

ter (courbe blanche, tracé en plein), bien qu'une planète dix pour cent plus grosse ou plus petite puisse avoir le même effet (courbes blanches tracées en pointillé). D'après des observations récentes, le diamètre serait plutôt égal à 1,6 fois celui de Jupiter. Les barres d'erreurs augmentent après l'occultation, car l'étoile était alors proche de l'horizon.

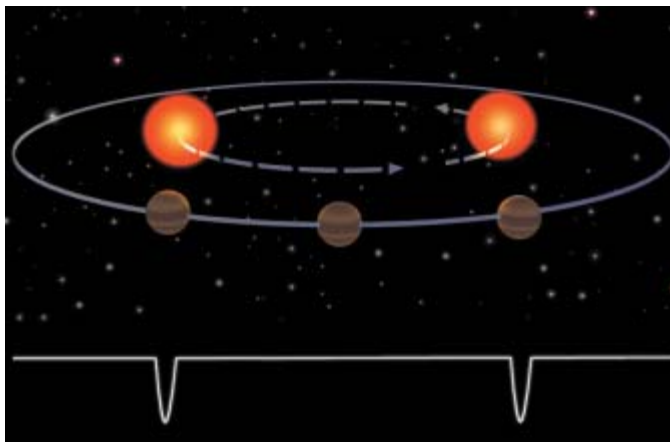


Jennifer Johansen

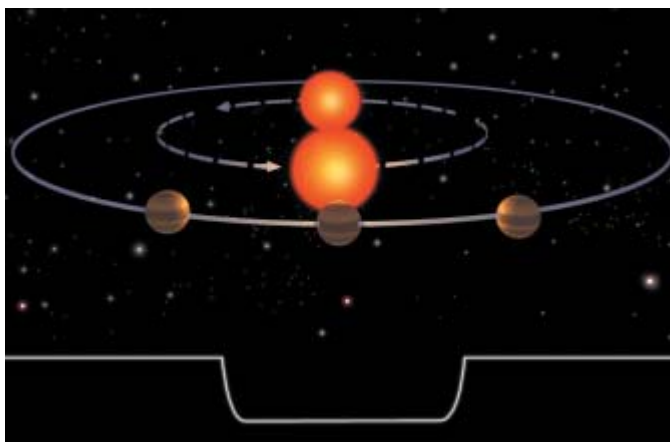
4. LE BRUIT DE FOND risque de masquer des signaux qui indiquent une planète dissimulée dans ces mesures de luminosité de l'étoile binaire CM Draconis (points). Pour distinguer le scintillement des instabilités atmosphériques d'une atténuation causée

par une planète, les auteurs recherchent des variations régulières du signal. Les courbes correspondent à l'atténuation théorique pour un corps gros comme deux fois et demie la Terre sur une orbite de 23 jours.

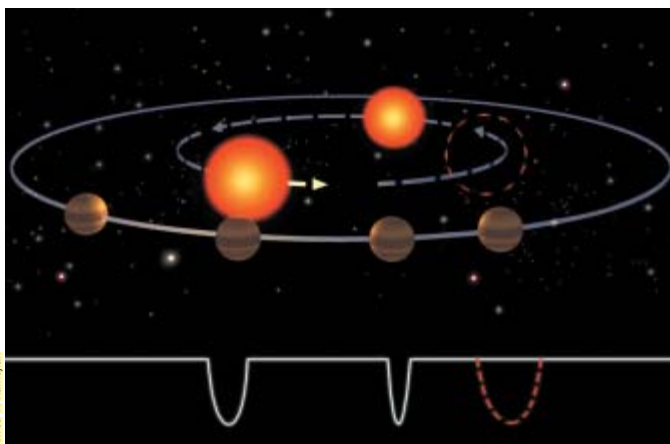
5. MÉTHODE DE DÉTECTION des planètes par occultation. Considérons une planète dans un système stellaire binaire. Les astronomes ne voient pas les deux étoiles isolées : les lumières qu'elles émettent se confondent. Quand la planète passe devant chacune des deux étoiles par rapport à nous, le système s'obscurcit de façon caractéristique. L'ampleur et la durée de l'obscurcissement dépendent de la position des étoiles sur leur orbite.



Ici, la séparation apparente des étoiles est maximale. La planète effectue un double transit : elle passe devant l'une, puis devant l'autre étoile.



Quand la planète passe devant l'une des étoiles, tandis qu'elle-même éclipse la seconde, le transit peut durer plus longtemps et produire une diminution relative de la luminosité supérieure.



Quand la planète passe devant les étoiles juste avant une éclipse stellaire, on observe alors un triple transit : tout d'abord devant l'étoile la plus proche, puis devant la plus éloignée (mais pendant un temps plus court, parce que la planète et l'étoile éloignée se déplacent en sens contraire), et enfin à nouveau devant l'étoile proche.

planètes découvertes et évaluent, d'après leur probabilité d'alignement, le nombre total de planètes existantes.

La plupart des programmes en cours recherchent, à partir de télescopes terrestres, des planètes géantes, telle celle découverte en orbite proche autour de HD 209458. Le projet *Stare* (*Stellar astrophysics and research on exoplanets*), c'est-à-dire astrophysique stellaire et recherche d'exoplanètes), dirigé par T. Brown, et le projet *Vulcan*, dirigé par W. Borucki, D. Koch, du Centre Ames de la NASA, et J. Jenkins, de l'Institut Seti (pour la recherche d'une intelligence extrasolaire), en Californie, visent la Voie lactée, où les étoiles sont très abondantes.

Des recherches ont également été menées grâce au télescope spatial *Hubble*. Les astronomes ont observé 34 000 étoiles dans l'amas globulaire 47 Tucanae pendant huit jours. D'après leurs calculs, ils s'attendaient statistiquement à observer 30 transits. Or, ils n'en ont pas détecté un seul et s'interrogent encore sur ce résultat. Il est possible que l'amas ne contienne aucune planète, soit parce que ses étoiles sont pauvres en éléments lourds, constituants des planètes, soit parce que les étoiles, trop proches, ont perturbé l'orbite des planètes depuis la formation de l'amas, il y a quelque dix milliards d'années.

Les astronomes visent surtout des étoiles massives et les observent sur de courtes durées : ils recherchent les planètes de type géantes gazeuses, qui ne peuvent abriter la vie telle que nous la connaissons.

Afin de rechercher des mondes habitables, c'est-à-dire susceptibles de contenir de l'eau liquide, nous avons choisi une approche différente, suggérée par Jean Schneider et ses collaborateurs. Nous recherchons des étoiles relativement petites. Pourquoi ? Parce que les planètes trop proches de leur étoile subissent un terrible effet de serre. La stratosphère de ces planètes est saturée en vapeur d'eau, la lumière solaire casse l'eau en oxygène et en hydrogène, et l'hydrogène s'échappe dans l'espace. La planète finit par se dessécher et par devenir extrêmement chaude, comme Vénus. De même, les planètes très éloignées de leur étoile subissent un refroidissement aussi catastrophique. Les gaz à effet de serre, tel le dioxyde de carbone, se transforment en neige, qui réfléchit plus de rayonnement que les roches, ce qui accélère le refroidissement. La planète gèle, comme Mars. Les étoiles plus petites que le Soleil sont les plus froides, et les zones habitables sont donc plus proches de l'étoile, ce qui accroît la probabilité d'observer des transits. En outre, une planète donne un signal d'occultation plus net quand elle passe devant une petite étoile. Par conséquent, s'il existe des planètes abritant la vie, nous avons plus de chances de les détecter.

L'ombre des autres terres

Parmi les petites étoiles, nous avons choisi celles qui présentent les alignements indispensables aux occultations. Nous les surveillons longtemps (trois mois), afin que les signaux de transits périodiques s'accumulent et finissent par apparaître, même s'ils sont trop faibles pour être détectés un à un. Nous avons sélectionné des systèmes binaires à éclipse, c'est-à-dire des étoiles doubles dont le plan orbital est parallèle à notre ligne de visée. Elles passent régulièrement l'une devant l'autre, leur

luminosité croît et décroît de façon si caractéristique que les astronomes en ont recensé des milliers. À part leur orientation particulière, rien ne les distingue des autres étoiles binaires, qui constituent les deux tiers des étoiles dans l'Univers. D'après les théoriciens, quand une planète se forme dans un système binaire, elle

apparaît dans le même plan orbital que les deux étoiles. On a alors toutes les chances d'observer des occultations. La planète tourne comme n'importe quelle autre planète, mais elle a deux soleils au lieu d'un dans son ciel. Par ailleurs, d'après des calculs de gravitation, son orbite n'est stable que si sa distance au centre de gravité

des deux étoiles est quatre fois supérieure à la distance entre les deux étoiles. Quand une planète passe devant ses étoiles mères, elle bloque la lumière d'une étoile, puis de l'autre, ce qui engendre une double baisse de luminosité caractéristique, dont la forme dépend de la configuration géométrique des trois (voir la figure 5).

Où en sommes-nous ?

Aujourd'hui, on a dénombré 50 planètes qui gravitent autour d'étoiles semblables au Soleil. Les télescopes du monde entier (Hawaii, Californie, Massachusetts, Chili, Australie, France) en recensent de nouvelles, pour la plupart massives et proches de leur étoile, presque tous les mois. Ces découvertes remettent en cause les théories sur la genèse et sur la diversité des systèmes planétaires.

Ces 50 planètes ont toutes été découvertes en mesurant les mouvements des étoiles, causés par l'attraction des planètes (méthode des vitesses radiales). La toute première planète découverte par M. Mayor et D. Queloz, de l'Observatoire de Genève, en 1995, fut une planète d'une masse équivalente à celle de Jupiter, en orbite très rapprochée (0,05 unité astronomique) autour de l'étoile 51 Pegasi (une unité astronomique correspond à la distance Terre-Soleil). Personne ne s'attendait à une orbite aussi serrée. Peu après, une équipe dirigée par G. Marcy et R. Butler, alors à l'Université de San Francisco, a annoncé la découverte de planètes massives en orbite encore plus proche autour de deux autres étoiles. L'orbite de celle qui gravite autour de 70 Virginis est très aplatie, à la différence de celles des planètes du Système solaire.

En étudiant 800 étoiles à proximité du Soleil, les astronomes ont montré qu'une planète géante gravite autour d'une étoile sur 20 environ. Certaines, comme celles de 51 Pegasi, sont des planètes rapprochées en orbite circulaire. D'autres, comme celles de 70 Virginis, ont des orbites plus larges et étirées. Upsilon, de la constellation d'Andromède, renferme plusieurs planètes. D'autres étoiles, parmi lesquelles 55 Cancri, auraient aussi toute une famille de planètes.

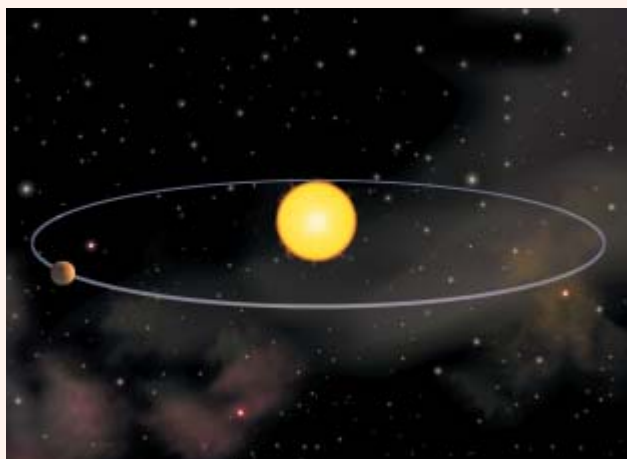
Grâce à l'amélioration de la précision des mesures de vitesses radiales, on a découvert deux autres planètes, d'une masse proche de celle de Saturne, soit environ le tiers de la masse de Jupiter. Cette découverte a été suivie de celle d'une troisième planète de la masse de Saturne par l'équipe suisse. Tout cela confirme les prédictions de l'existence de nombreuses planètes de petite masse. À l'inverse, les naines brunes en orbite serrée (des étoiles « ratées » dont la masse est comprise entre 10 et 80 fois celle de Jupiter) semblent beaucoup plus rares qu'on ne l'avait pensé. Les planètes et des naines brunes ne sont peut-être pas issues des mêmes mécanismes.

Les orbites étirées restent assez mystérieuses aussi. Les planètes se forment dans les disques de gaz et de poussière qui entourent les jeunes étoiles, et la friction devrait rendre leur orbite circulaire. Comment 70 Virginis et ses analogues ont-elles pu échapper à la règle ? Les comètes, dans le Système solaire, fournissent peut-être une indication. Leurs orbites deviendraient elliptiques, suite à des rencontres rapprochées avec les planètes. Peut-être les planètes se livrent-elles à des jeux de lance-pierres identiques ? Si tel est le cas, notre Système solaire, avec ses orbites planétaires pour la plupart circulaires, relève peut-être plus de

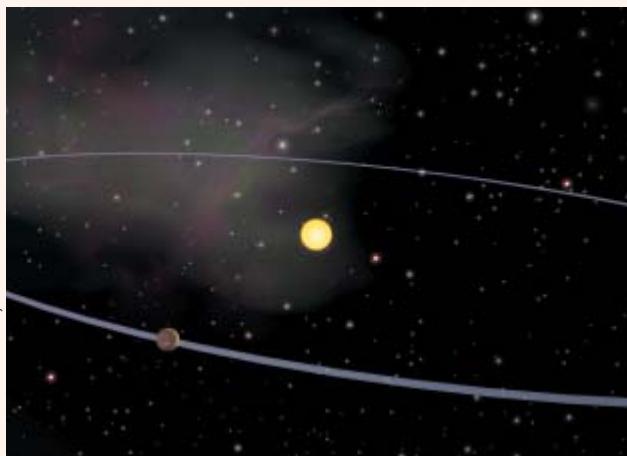
l'exception que de la règle. Dans d'autres cas, par exemple pour 16 Cygni B, l'influence gravitationnelle d'une étoile compagnon serait responsable de la distorsion des orbites.

Par ailleurs, les étoiles qui abritent des exoplanètes ont tendance à avoir des concentrations très élevées en éléments plus lourds que l'hydrogène et l'hélium. Existe-t-il un seuil critique de concentration en éléments lourds dans les étoiles et leur environnement, au-dessous duquel les planètes ne se forment jamais ? Une explication possible est que les étoiles se seraient enrichies en éléments lourds en absorbant les planètes toutes jeunes.

Ray JAYAWARDHANA étudie l'origine des planètes à l'Université de Berkeley



La planète qui gravite autour de 51 Pegasi illustre l'un des deux types d'orbites planétaires observés : serrée et circulaire.



La planète autour de 70 Virginis illustre l'autre type d'orbites planétaires : plus large et elliptique.