

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.

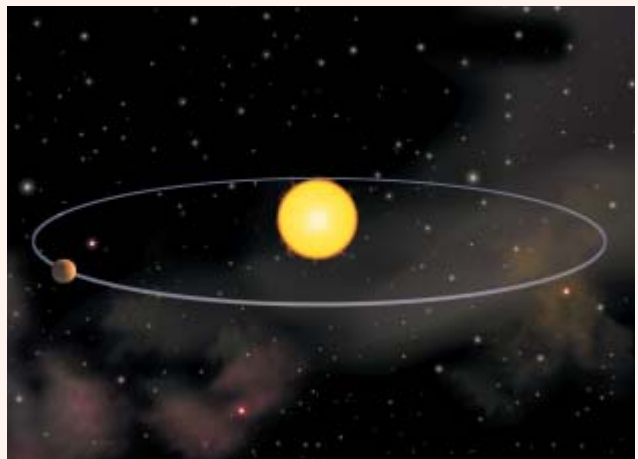
Grâce à l'amélioration de la précision des mesures de vitesses radiales, on a découvert deux autres planètes, d'une masse proche de celle de Saturne, soit environ le tiers de la masse de Jupiter. Cette découverte a été suivie de celle d'une troisième planète de la masse de Saturne par l'équipe suisse. 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

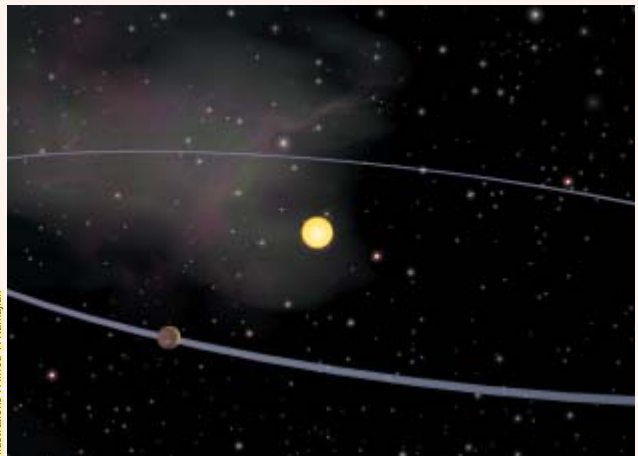
l'exception que de la règle. Dans d'autres cas, par exemple pour 16 Cygni B, l'influence gravitationnelle d'une étoile compagne serait responsable de la distorsion des orbites.

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.

Trois missions spatiales

L'idée de consacrer une mission spatiale à la recherche de planètes analogues à la Terre par la méthode des transits date du milieu des années 1980. Celle de mettre à profit les projets de sismologie stellaire du CNES a germé en 1988. Elle s'est concrétisée par le projet *COROT* (COnvection, ROtation et Transits planétaires), initialement consacré à la seule sismologie stellaire et approuvé par le CNES en octobre 2000. D'autres pays européens (Autriche, Belgique, Espagne et sans doute bientôt l'Italie) et l'Agence spatiale européenne s'y sont joints.

COROT se présente sous la forme d'un petit télescope de 27 centimètres de diamètre, lancé en 2004 sur une orbite «polaire» (perpendiculaire à l'équateur terrestre) à une altitude de 800 kilomètres. La sonde enregistrera, au moyen de caméras numériques très sensibles, leur luminosité toutes les 32 secondes, avec une précision atteignant un pour 10 000 au bout d'une heure d'accumulation des enregistrements. Le télescope sera pointé vers 12 000 étoiles à 30 degrés de la Voie lactée, dans une direction opposée au Soleil. Six mois plus tard, changement de cap : la Terre aura tourné autour du Soleil, *COROT* changera alors son orientation de 180 degrés afin d'éviter la lumière du Soleil, et visera un second champ d'étoiles, avant de revenir au voisinage du premier six mois plus tard, et ainsi cinq fois de suite. Au total, ce seront 60 000 étoiles qui seront suivies pendant deux ans et demi. On devrait détecter 400 planètes géantes, mais surtout des planètes telluriques, sans compter les éventuels satellites et anneaux de planètes. Si tout va bien, *COROT* sera le premier à détecter, à partir de 2005, une autre Terre dans l'Univers.

Deux autres missions sont en cours d'élaboration. La première est celle de l'Observatoire Eddington, projet de l'Agence spatiale européenne. La seconde est le projet Kepler, soumis à la NASA, qui n'a pas encore été adopté non plus. Les deux surveilleront plus de 100 000 étoiles pendant trois à cinq ans et devraient ramener, d'ici 2010, une moisson de plus de 100 terres chacune.

Jean SCHNEIDER, Observatoire de Paris

Ainsi, les binaires à éclipses représentent une aubaine pour les chasseurs de planètes, ainsi que Jean Schneider et Michel Chevreton, de l'Observatoire de Meudon, ont été les premiers à le faire remarquer.

En 1994, nous avons organisé avec eux un réseau mondial de télescopes, afin de rechercher des planètes de type terrestre autour de CM Draconis, l'un des plus petits systèmes binaires à éclipses connus. Il est constitué de deux étoiles quatre fois plus petites que le Soleil, très froides, âgées d'environ neuf milliards d'années et situées à 54 années-lumière. La luminosité de CM Draconis est dix fois plus faible que celle de HD 209458. Les planètes habitables auraient une période orbitale comprise entre 18 et 35 jours. Les six télescopes du réseau ont observé cette zone pendant plus de 1 000 heures. Depuis six ans, des astronomes du monde entier ont réuni leurs mesures, obtenues à diverses longitudes.

La difficulté a consisté à distinguer le signal lié aux occultations dans le

bruit dû aux instabilités de l'atmosphère terrestre, de l'éclat stellaire, voire des instruments. Toutefois, les signatures de transits devant les binaires à éclipses sont réguliers, caractéristiques et prévisibles, si bien que l'algorithme mis au point avec J. Jenkins nous permet de détecter des planètes, alors même que la baisse de luminosité est noyée dans le bruit de fond. En pratique, nous avons comparé aux enregistrements plus de 400 millions de motifs susceptibles de correspondre à des transits. Grâce à cette technique, nous avons identifié neuf possibilités. Toutes correspondent à une planète dont le rayon serait égal à deux fois et demie celui de la Terre, mais neuf orbites sont possibles (voir la figure 4). Nous cherchons si les passages ont toujours lieu à une date et à une heure précises. Aujourd'hui, seules deux orbites semblent identifiées, l'une de 21 jours, l'autre de 26 jours. Nous continuons ces recherches et nous suivons en outre plusieurs centaines d'autres systèmes binaires à éclipses.

Un monde réglé comme une horloge

À terme, les transits pourraient même révéler si les planètes ont des satellites. En effet, les satellites font légèrement varier le mouvement orbital de leur planète mère, et modifient l'heure de l'occultation. Par exemple, si des astronomes extraterrestres suivaient le Soleil, ils remarqueraient que les transits ont lieu tous les 365,24 jours, et en déduiraient la présence de la Terre. Au bout de quelques années, ils remarqueraient que les passages peuvent intervenir avec deux minutes d'avance ou de retard, ce qui témoigne de la présence de la Lune. Si ces astronomes extraterrestres avaient des instruments photométriques très puissants, ils pourraient même détecter directement la petite baisse de luminosité supplémentaire due à la Lune.

Une planète se manifeste autrement que par ses occultations. Une binaire à éclipses est une sorte d'horloge, car les éclipses s'y produisent à intervalles réguliers. Si le mécanisme n'est pas parfaitement régulier, c'est qu'un corps massif invisible attire les étoiles. Par exemple, si une planète de la masse de Jupiter éloignait de nous une étoile binaire, les éclipses interviendraient avec quelques secondes de retard, c'est-à-dire le temps supplémentaire que mettrait la lumière des deux étoiles pour nous parvenir. Plus la planète est éloignée ou plus sa masse est élevée, plus le décalage augmente (méthode du chronométrage). Ainsi, on peut détecter une planète géante même si elle ne passe pas devant les deux étoiles. D'après les données disponibles, les astronomes savent où les planètes géantes ont des chances d'être situées dans certains systèmes. Par exemple, CM Draconis ne contient aucun corps dont la masse est supérieure à trois fois celle de Jupiter et dont l'orbite est plus rapprochée que celle de la Terre.

Les mesures photométriques de haute précision accumulées pendant des années pourraient aussi fournir des informations sur la lumière réfléchie par les planètes. Les planètes situées sur une orbite assez proche de leur étoile, estimée à moins de dix fois le rayon stellaire environ, réfléchissent une fraction perceptible de la lumière stellaire. Elle engendrerait une ondulation cyclique, de moins d'un dix millièmes de l'éclat de l'étoile, mais distincte des autres variations de la luminosité stellaire. Cette technique permettrait de décou-