

## Des planètes par milliers...

Depuis longtemps, une question tracasse l'être humain : sommes-nous seuls dans l'Univers ? N'y a-t-il vraiment aucun autre asile pour la vie que notre bonne vieille Terre ? Les scientifiques ont élaboré des théories pour expliquer la formation du Système solaire, et n'en concluent pas que celui-ci serait unique ; mais avant de chercher d'éventuels « petits hommes verts », il faudrait leur trouver un domicile... et la quête a commencé !

Historiquement, il faut faire remonter cette quête au milieu du siècle : l'astronome Peter van de Kamp examina plus de 2 000 plaques photographiques, prises entre 1938 et 1962, de l'étoile de Barnard – une étoile découverte en 1916 qui possède un important mouvement propre. Il remarqua que cette étoile n'avait pas une trajectoire parfaitement rectiligne, mais qu'elle oscillait plutôt autour d'une ligne droite : son mouvement était perturbé. Par quoi ? Par une planète, pardi ! Au cours des années, il raffina sa description de la mystérieuse planète, la dédoublant même : il s'agissait selon lui de deux « Jupiter » qui gravitaient autour de l'étoile. Mais dès 1973, d'autres scientifiques menèrent de nouvelles campagnes d'observations et ne remarquèrent rien de particulier ; l'un deux examina douze étoiles des plaques qui avaient servi à van de Kamp et trouva que toutes présentaient un étrange mouvement : le problème venait du télescope ! Et aucune mesure prise depuis ne semble confirmer la présence d'une planète autour de cette étoile... Premier coup d'essai, premier échec.

Mais les scientifiques ne se découragèrent pas, et ils mirent le temps à profit pour perfectionner leurs techniques. En octobre 1995, un coup de tonnerre retentit : deux Suisses qui utilisaient le télescope de 1,93 m de l'Observatoire de Haute-Provence, Michel Mayor et Didier Queloz, découvrent la première planète extrasolaire autour d'une étoile semblable au Soleil !

### ***1. Comment ?***

Détecter ces « exoplanètes », comme on les appelle, est extrêmement difficile. Tout d'abord parce que les planètes n'émettent pas leur propre lumière : elles ne font que réfléchir la lumière de leur étoile et sont donc environ un milliard de fois moins lumineuses ! La plupart des techniques de détection reposent sur l'observation indirecte de ces planètes, sur l'effet qu'elles peuvent avoir sur leur soleil. Comme les plus grosses planètes sont les plus faciles à détecter, les exoplanètes connues aujourd'hui ont au moins la masse de Jupiter.

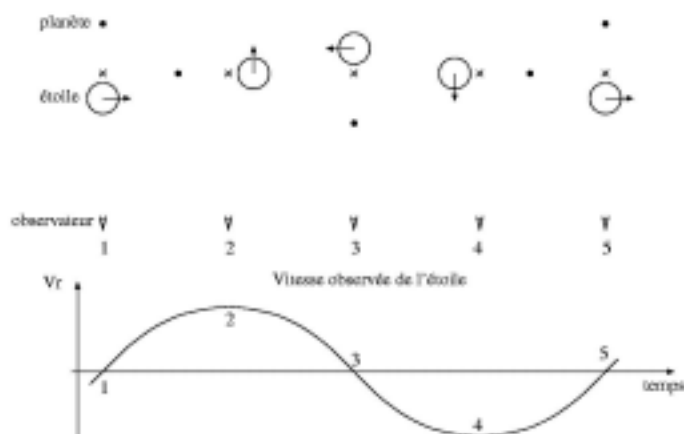
La plus populaire de toutes ces techniques, déjà utilisée par Mayor et Queloz, se base sur la mesure de la *vitesse radiale*<sup>1</sup> des étoiles. Si l'on décompose la lumière d'une étoile à l'aide d'un prisme ou d'un réseau, on voit apparaître sur un fond aux couleurs de l'arc-en-ciel

---

<sup>1</sup> La vitesse radiale d'une étoile est la vitesse à laquelle cette étoile s'éloigne ou s'approche de nous.

de fines lignes noires appelées « raies », caractéristiques des divers éléments chimiques qui composent l'atmosphère de l'étoile. On peut mesurer la position de ces raies et les comparer à celle que l'on observe en laboratoire : si la raie est exactement au même endroit, la vitesse radiale de l'étoile est nulle. Si la raie est décalée vers les plus grandes longueurs d'onde (le « rouge »), l'étoile s'éloigne de nous, tandis que si c'est vers le « bleu », elle se rapproche. C'est ce que l'on appelle l'*effet Doppler* (voir figure).

L'effet Doppler est observé pour la plupart des étoiles, sous la forme d'un décalage global des raies de leur spectre, qui permet d'estimer leur vitesse radiale ; on parle de

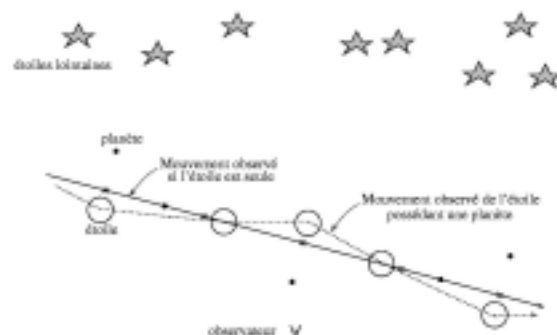


*Au mouvement propre d'une étoile possédant un compagnon – planétaire ou stellaire – se superpose un mouvement orbital.*

de Kepler permet, si l'on mesure très précisément l'évolution de la position des raies au cours du temps, de déterminer la distance qui sépare l'étoile et son compagnon, et d'en déduire finalement la masse de ce dernier. Une seule incertitude, l'inclinaison de l'orbite par rapport à notre ligne de visée : on ne connaît donc ces paramètres qu'à un facteur près ! Évidemment, plus la masse du compagnon est faible et moins l'amplitude du mouvement de l'étoile est importante.

Ce mouvement d'oscillation dû à un compagnon peut en principe être observé autrement, par la technique que l'on avait tenté de mettre en œuvre pour l'étoile de Barnard. La position de l'étoile est mesurée par rapport à d'autres qui servent de référence. Si l'étoile se déplace en ligne

*mouvement propre*. Pour les étoiles possédant un compagnon – planétaire ou stellaire –, cette vitesse varie au cours du temps ; en effet les deux compères tournent autour d'un point commun, leur *centre de gravité*. Dans ce cas, au décalage global des raies résultant du mouvement propre se superpose un léger mouvement de va-et-vient dû au mouvement orbital. Comme on peut obtenir une estimation de la masse d'une étoile de la séquence principale à l'aide de la relation masse-luminosité<sup>2</sup>, la troisième loi

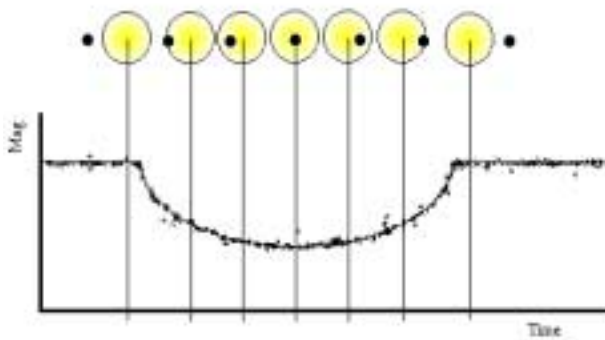
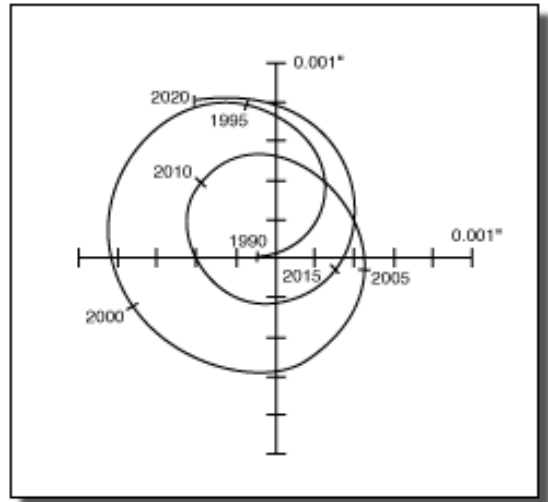


*Mouvement d'oscillation d'une étoile autour d'une trajectoire rectiligne dû à la présence d'un compagnon.*

<sup>2</sup> Les observations montrent que plus une étoile de la séquence principale est brillante, et plus sa masse est élevée.

droite, pas de problème, elle est seule ; par contre, si elle s'écarte périodiquement du droit chemin, c'est qu'elle cache quelque chose !

Cet effet est très petit. À titre d'exemple, vous pouvez voir ci-dessous le mouvement d'entraînement que subirait le Soleil sous l'influence de ses planètes – principalement de Jupiter – pour un observateur extérieur, situé à 10 parsecs<sup>3</sup> au-dessus du plan de l'écliptique. Cette technique, qui nécessite des mesures d'une précision extrême, sera utilisée dans le futur par les satellites GAIA (Esa) et SIM (Nasa). Par exemple, SIM sera capable de détecter des planètes de masse comparable à celle de la Terre autour des étoiles proches, et des « Jupiter » autour des étoiles éloignées de moins d'un kiloparsec.

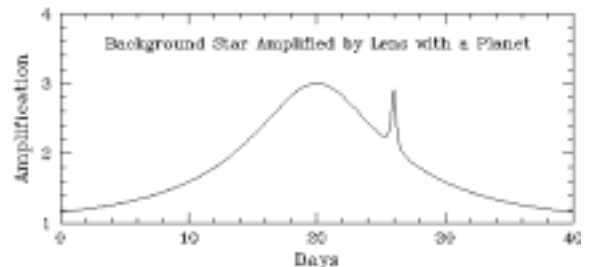
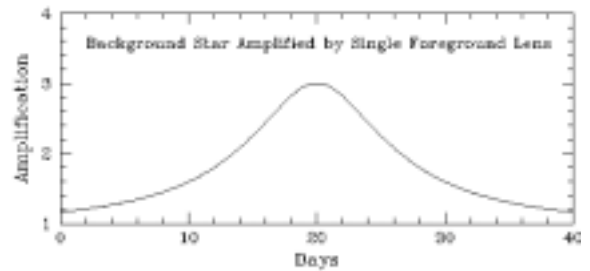


*Courbe de lumière d'une étoile lors d'une éclipse due au passage d'une planète.*

planète, en passant devant son soleil, cache une partie de sa lumière et trahit ainsi sa présence...

Plus élaborée, la technique de microlentille gravitationnelle repose sur un principe de Relativité générale : si une étoile proche s'interpose devant une étoile plus lointaine, son champ gravitationnel dévie les rayons lumineux issus de l'étoile lointaine, et cette dernière paraît plus brillante. Lorsque la première étoile quitte la ligne de visée, la luminosité de la deuxième étoile diminue doucement jusqu'à ce qu'elle retrouve sa

Une autre possibilité est de mesurer très précisément la lumière totale émise par l'étoile. Si la luminosité stellaire change, et subit régulièrement des phases de diminution, on peut penser qu'il s'agit là tout simplement d'un phénomène d'occultation, d'éclipse : la

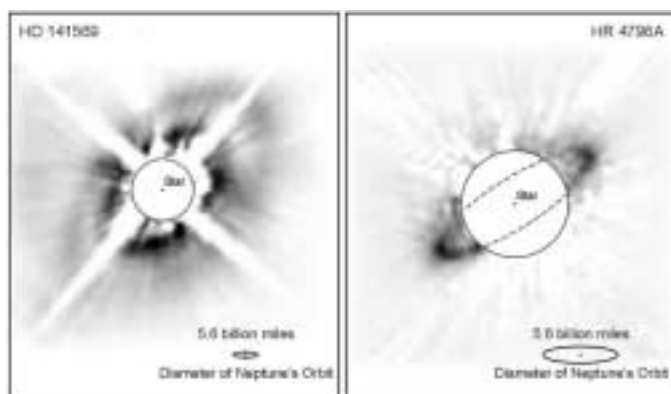


*Effet de microlentille produit sur la lumière d'une étoile lointaine par une étoile isolée (haut) ou par une étoile possédant une planète (bas).*

<sup>3</sup> Un parsec est une unité de mesure souvent utilisée par les astronomes, et qui vaut environ 3,26 années-lumière.

brillance originelle. Cet effet est illustré ci-contre. Si la première étoile possède une planète, le champ gravitationnel de celle-ci va aussi contribuer à l'effet, bien que plus faiblement. Si on observe bien la courbe de lumière, on pourra y trouver la signature de la planète (sous la forme d'un pic dans la courbe de luminosité).

Actuellement, cette technique ne permet pas de détecter des planètes de la taille de la Terre, mais depuis 1995, le groupe PLANET (*Probing Lensing Anomalies NETwork*) cherche activement des exoplanètes plus « grosses » : il utilise pour ce faire un réseau de télescopes situés en Afrique du Sud, en Australie et au Chili.



Exemples de disques d'accrétion autour de deux étoiles. Les ellipses situées dans la partie inférieure de la figure représentent, à l'échelle, l'orbite de Neptune.

Une autre technique de détection, assez originale, repose sur l'observation des disques de poussières qui entourent les étoiles. Ces disques peuvent se condenser et donner naissance à des planètes ; on pense que notre Système solaire s'est formé ainsi, il y a environ quatre milliards et demi d'années. L'observation de tels disques autour d'autres étoiles constitua la première évidence de l'existence possible des exoplanètes. Mais si une planète se

forme dans un tel disque, elle va rapidement agglomérer la poussière qui se trouve le long de son orbite et on devrait observer un « sillon » dans le disque... Et on en voit ! Notamment autour de  $\beta$  Pictoris, dont le disque proto-planétaire est bien connu, ou autour de HD 141569 et de HR 4796 (cf. ci-dessus).

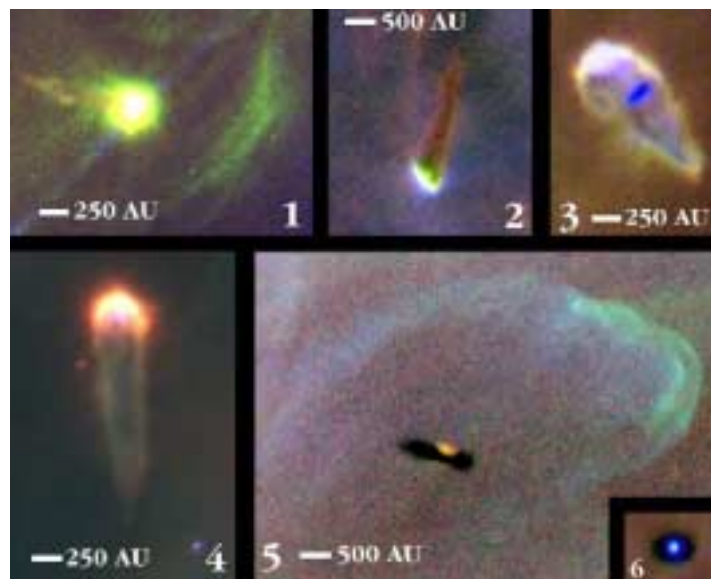
La dernière façon de trouver des planètes, la plus difficile, mais aussi la plus évidente et la plus irréfutable, c'est de les observer directement ! Le problème, c'est que les planètes sont peu brillantes et très proches de leur étoile-mère... Alors, comment faire ? Eh bien, il faudra utiliser de grands télescopes, ou un ensemble de télescopes exploitant la technique de l'interférométrie<sup>4</sup>. Il y a bien sûr le HST, et le futur NGST (le *Next Generation Space Telescope*, télescope spatial américain de 8 mètres de diamètre, qui devrait succéder à *Hubble* en 2009), mais surtout le projet fou des Européens : OWL (*Overwhelmingly Large telescope*), un télescope de 100 mètres de diamètre... Les premières détections directes d'exoplanètes devraient donc arriver au XXI<sup>e</sup> siècle !

<sup>4</sup> Voir l'article de Yaël Nazé, « Un télescope de 100 kilomètres de diamètre ? », *Galaxie* n°21.

## 2. Où en est-on ?

Au 15 septembre 2000, Jean Schneider, de l'Observatoire de Paris, recensait :

- 58 planètes ou naines brunes gravitant autour d'étoiles de la séquence principale, dont 12 possédant une masse de plus de 13 fois celle de Jupiter ;
- 2 planètes gravitant autour de pulsars ;
- 3 disques proto-planétaires ;
- 14 cas douteux, à confirmer ;
- enfin, 21 étoiles ne présentant *aucune* signature de planète (eh oui, c'est *aussi* un résultat !).

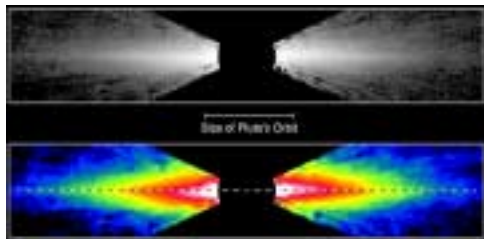


*Avant de découvrir des « vraies » planètes, il faut d'abord trouver leurs précurseurs, ces énormes disques de poussières qui peuvent se condenser en planètes...*

Les exoplanètes ne sont donc plus un rêve, elles existent ! Le problème, c'est de distinguer une grosse planète d'une naine brune. Les naines brunes sont des étoiles « ratées », qui n'ont pu allumer les réactions nucléaires en leur sein. La limite exacte entre super-planètes et naines brunes ne fait pas encore l'unanimité...

## 3. Quelques exemples...

- $\beta$  *Pictoris* : cette étoile est ceinturée d'un disque de poussières. On a observé dans le spectre de cette étoile des raies d'absorption qui apparaissaient de façon sporadique : certains y voient la signature de comètes qui gravitent autour d'elle, sur des orbites excentriques, et pensent que s'il y a des comètes, il doit aussi y avoir des planètes. D'autres ont observé une lacune dans le disque suggérant la présence d'une planète. Néanmoins, ces résultats ont besoin d'être confirmés.



Disque proto-planétaire autour de  $\beta$  Pictoris

- Planètes gravitant autour de pulsars : les pulsars constituent l'un des stades terminaux pour les étoiles massives, après leur explosion en supernovae. Ce sont des étoiles à neutrons possédant un champ magnétique intense, qui signalent leur présence par l'émission d'impulsions radio régulières.

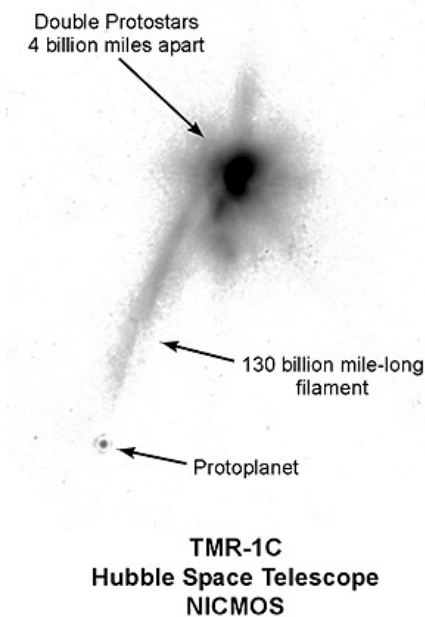
Les pulsars se comportent comme des phares, et nous envoient des « flashes » à intervalles extrêmement réguliers ! C'est en analysant le temps d'arrivée de ces impulsions que, dès 1994, certains scientifiques y ont découvert des irrégularités, qu'ils attribuèrent à la présence de planètes. Cependant, un problème persiste : comment comprendre la présence de planètes autour d'une étoile qui vient de subir une explosion catastrophique ? Plusieurs scénarios ont été proposés : le scénario « Salamander » suppose que ces planètes préexistaient à l'explosion et y ont survécu – on ne sait trop comment. Le scénario « Memnonides », plus plausible, suppose au contraire que ces planètes se sont formées après l'explosion de la supernova, à partir d'un disque de poussières résiduel. La présence d'un tel disque est difficilement explicable. Certains scientifiques proposent que les variations des temps d'arrivée des impulsions des pulsars ne sont pas dues à la présence de planètes, mais plutôt à des effets combinés de précession et de nutation.

#### 4. Controverses

Les controverses concernant les exoplanètes ne manquent donc pas : *pro* et *anti* se battent vigoureusement à coup d'articles vengeurs dans des revues scientifiques prestigieuses ! Sans revenir à l'antédiluvien combat autour de l'étoile de Barnard, il faut bien avouer que les astronomes arrivent difficilement à se mettre d'accord. Cependant, certains cas ne sont plus remis en cause : par exemple l'étoile HD 209458, dont la ou les planètes ont été mises en évidence par deux équipes indépendantes, avec deux techniques différentes ! Mais à côté de ces cas irréfutables, le débat reste ouvert : la découverte des exoplanètes est souvent récente, et elles n'ont été observées que par une seule technique et/ou une seule équipe. Des recoupements sont donc nécessaires pour obtenir un consensus global. Le problème est que le nombre d'exoplanètes potentielles ne cesse d'augmenter, et que la vérification de tous les cas devient quasiment impossible. On se focalise donc sur quelques cas médiatiques.

Ainsi, la première planète extrasolaire, découverte autour de 51 *Pegasi*, une étoile très semblable au Soleil, fut aussi la première à être mise en doute. Un scientifique, David Gray, étudia ses propres données de 51 *Peg* qui s'étendaient de 1989 à 1996 : il observa que non seulement la *position* des raies de l'étoile changeait de façon périodique, mais qu'il en allait de même pour leur *forme*. Il en conclut que ces variations trahissaient en fait, non pas l'existence d'une exoplanète, mais plutôt des pulsations périodiques de la surface de l'étoile,

avec une période égale à celle de l'exoplanète hypothétique (4,23 jours). Cependant, les données de Gray étaient très éparpillées et incomplètes, et peu de temps après cette publication, G. Marcy et R. Butler, deux astronomes qui avaient confirmé peu de temps auparavant la découverte de Mayor et Queloz, publièrent un article avec ces derniers pour réfuter la théorie des pulsations : les variations de luminosité qui découleraient inévitablement des pulsations sont absentes ! Gray observa de nouveau 51 Peg, mais cette fois, il utilisa des mesures moins espacées dans le temps, qui couvraient enfin totalement la période de 4,23 jours. Après analyse, il ne retrouva plus les variations de forme des raies. Trois possibilités s'offraient donc à lui : soit l'étoile avait cessé de pulser (mais pourquoi ?), soit il y avait trop de bruit dans les observations (peu probable), ou enfin il y avait une ou plusieurs planètes autour de 51 Peg. Il donna sa préférence à la dernière possibilité, mettant ainsi fin à cette controverse. Mais la planète tourne très vite autour de l'étoile et en est donc très proche ; de plus, elle est très massive. Une question reste dès lors ouverte : comment une planète aussi grosse que Jupiter a-t-elle pu se former aussi près de l'étoile ? Actuellement, la seule explication possible semble être que la planète s'est formée plus loin de l'étoile, et qu'elle s'est rapprochée peu à peu, à cause des forces de marée...



Une autre polémique débute en mai 1998 : HST crée la sensation, il a détecté une planète, la première directement observée ! Les controverses devaient s'éteindre ! Mais elle ne font que redoubler : sur l'image présentée ci-contre, on voit la « planète » située à 1 500 UA<sup>5</sup> de son étoile, une binaire qui l'aurait éjectée... irréfutable, disent ses découvreurs, car elle est encore reliée à son étoile. La planète aurait plusieurs fois la masse de Jupiter. Évidemment, il reste une faible probabilité qu'il s'agisse d'une étoile lointaine, située par hasard au mauvais endroit et dont la lumière serait atténuée par la poussière interstellaire. Et en avril 2000, le couperet tombe : c'est cette dernière possibilité qui est la bonne, puisque la « chose » est trop chaude – 2 700°C – pour être une planète.

Malgré tous ces échecs, la recherche continue, plus obstinée que jamais. Ces débats prouvent que les astronomes ne sont pas prêts à gober n'importe quoi, et restent critiques. C'est nécessaire si l'on désire obtenir des certitudes, et lorsque les « Jupiter » ne poseront plus de problèmes, on s'attaquera aux « Terre »... Petits hommes verts, gare à vous, on va trouver votre maison !

Yaël Nazé (IAGL)

<sup>5</sup> L'unité astronomique (UA) est la distance moyenne Terre-Soleil, environ 150 millions de kilomètres.