

150^e anniversaire 1846-1996

Cette exposition a été réalisée par
l'Observatoire de Paris
et le Palais de la découverte
avec la collaboration du Bureau des Longitudes
et de l'Institut d'Astrophysique de Paris

Commissaire de l'exposition

Claudine Laurent

Comité scientifique

Régis Courtin, Suzanne Débarbat, Roger Fertet,
Gérard Oudenot, Laurent Petitbon, Jean-Pierre Verdet,
Alfred Vidal-Madjar

Relations extérieures : Martine Mathieu

Cellule multimédia : Yves Zéau et Didier Faure

Cette exposition a bénéficié du soutien de :

la Société astronomique de France,

l'Association pour le prix scientifique Philip Morris,

CLIAS, Digital Domain, International Concept,

Pour la Science, Science et Vie

et du concours à l'Observatoire de Paris de :

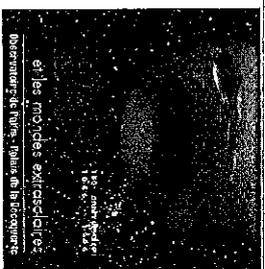
N. Daliès et J. Alexandre (bibliothèque),

F. Casoli, M. Combes, P. Drossart, A. Lecacheux,

J. Schneider, B. Sicardy (chercheurs),

M. Poinse (montage audiovisuel),

G. Servajean et C. Plomkoff (service photographique)
ainsi que de la participation de J. Mouette (LAP).



DECOUVERTE

Fondateur A. Jean Rose (1915-1992)

Numéro spécial 48 - septembre 1996

NEPTUNE

150^e anniversaire
1846 - 1996

et les mondes extrasolaires

Observatoire de Paris - Palais de la découverte

Photographie de
couverture :
Neptune
(Photographie NASA)

Directeur de la publication, rédacteur en chef : Michel Demazure,
directeur du Palais de la découverte, Comité de rédaction : France Agid,
Bernard Blache, Robert Gaurrene, Claudine Laurent, Jean-Pierre Maury,
Charles Panet et Claude Tsiib. Secrétariat de rédaction : Martine Pene,
assistée de Marie-Annette Pujol.

OBSERVATOIRE DE PARIS
Bibliothèque de Médon

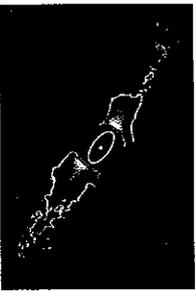
Bno. 4731

ISBN 2 - 85607 - 036 - 1

Le satellite IRAS (Infrared Astronomical Satellite) a observé en 1983 une étoile dans la constellation de l'Atelier du Peintre : β Pictoris. Ce fut la première observation d'une longue série qui allait révéler un objet très particulier.

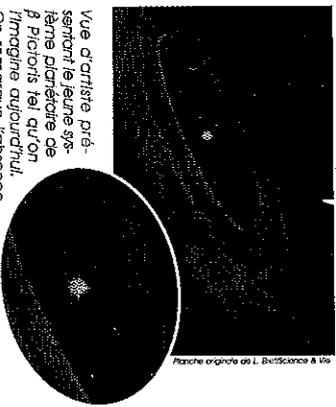
Un disque de poussière autour de β Pictoris

Ce disque, vu par la tranche, a une dimension de plus de 500 unités astronomiques. Cette image en fausses couleurs a été obtenue à partir d'observations au télescope de 2,20 m de l'ESO (Observatoire Européen Austral). L'émission de l'étoile a été artificiellement retirée. Sa position est au centre de l'image ayant les dimensions de l'ordre de Neptune.



Centre IRAS

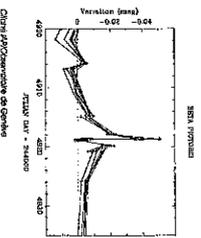
Pluie de comètes



Panache originale de L. Besicovich & V.

Vue d'artiste présentée par le jeune système planétaire de β Pictoris tel qu'on l'imagine aujourd'hui. On remarque l'absence de poussières au voisinage de l'étoile et la présence de très nombreuses comètes qui tombent sur l'étoile à la cadence d'une pluie en moyenne.

Occultation de l'étoile



Elle a été observée le 10 novembre 1981 au télescope de 0,7 m de l'Observatoire de Genève, Institut de l'ESO. Si cette occultation est due à une planète, cette dernière aurait environ 2 fois la taille de Jupiter et serait située, comme Jupiter, à environ 5 unités astronomiques de l'étoile.

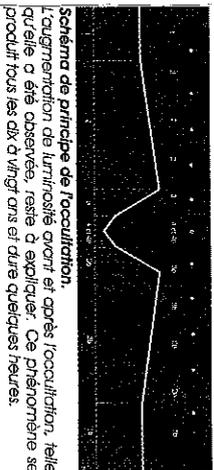
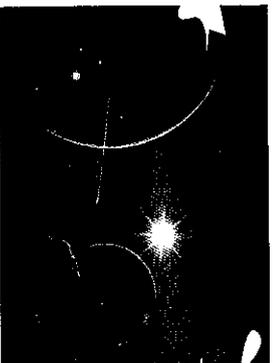


Schéma de principe de l'occultation. L'augmentation de luminosité avant et après l'occultation, telle qu'elle a été observée, resta à expliquer. Ce phénomène se produit tous les dix à vingt ans et dure quelques heures.



Panache originale de L. Besicovich & V.

Le voisinage de β Pictoris

Vue d'artiste du système de β Pictoris au voisinage de l'éventuelle planète géante. Le système étant jeune, de nombreuses collisions s'y produisent encore, comme cela a été le cas dans notre système solaire pendant ses 700 premiers millions d'années. Les collisions et l'évaporation des nombreuses comètes sont à l'origine du disque de poussière qui apparaît sous forme d'une bande lumineuse blanchâtre.

Le dernier indice en date est sans doute le plus spectaculaire. En analysant de nouvelles observations photométriques faites à l'ESO par des astronomes suisses en 1981, il a été possible de mettre en évidence une variation dans la luminosité de β Pictoris qui peut être expliquée par le passage d'une planète entre l'étoile et l'observateur. Il a même été possible d'estimer la taille de cette planète qui serait un peu supérieure à celle de Jupiter.

Depuis 1984, le disque de β Pictoris reste unique, malgré de multiples recherches. Cette situation est très étonnante car le nombre d'étoiles à enveloppes de poussière découvertes par IRAS est grand. Le système de β Pictoris représente-t-il une étape initiale dans la formation de tout système planétaire ? Est-ce ainsi que s'est formé le nôtre il y a 4,5 milliards d'années ? Ou est-il au contraire un résidu stabilisé de cette formation ?

Il semble aujourd'hui clairement établi que la poussière du disque est en perpétuel renouvellement sous l'influence des sublimations et des collisions entre petits corps. Il est fort probable que β Pictoris donne une image de l'état de notre propre système solaire ayant tout au plus 100 ou 200 millions d'années (âge présumé de β Pictoris), période très courte de la vie stellaire. Cela expliquerait pourquoi β Pictoris constitue encore une belle exception.

* Au-delà de Neptune...

la quête de nouveaux systèmes planétaires

Jean Schneider — Observatoire de Paris

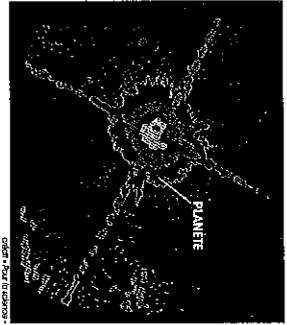
D'Épiciure à Mayor et Queloz

L'astronomie est peut-être en train de vivre l'un des grands tournants de son histoire. Voici 23 siècles que l'on se pose la question de l'existence d'« autres mondes ». Pour Épiciure (341-270 av. J.-C.), la réponse allait de soi car : « Les mondes sont en nombre infini, les uns semblables à celui-ci, les autres dissimulables. Car les atomes étant en nombre infini, [...] il n'est rien qui fasse obstacle à l'infini des mondes. [...] » *Lettre à Hérodote*. Depuis, C. Huygens (1629-1695) a été le premier astronome à s'être posé la question : « Comment faire pour observer pratiquement d'autres systèmes planétaires ? » In *Cosmotheoros*, 1698.

En 1993, A. Wolszczan et D.A. Frail, grâce à des observations obtenues avec le radiotélescope d'Arecibo, ont trouvé les premiers corps de masse planétaire, mais autour d'une étoile très particulière, un pulsar. Et ce n'est finalement qu'en 1995 que M. Mayor et D. Queloz ont découvert à l'Observatoire de Haute-Provence ce qui est probablement la première planète en orbite autour d'une étoile semblable au Soleil.

Peut-on les observer ?

DÉTECTION DIRECTE
 L'observation d'une planète hors du système solaire est extrêmement difficile car c'est un objet petit et peu lumineux. Mais elle n'est pas impossible.



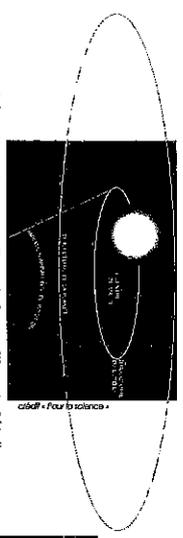
Simulation en fausse couleur, le rouge correspondant à la plus grande intensité lumineuse de ce qui pourrait être observé par un télescope optique idéal (sans aucun défaut) en orbite autour de la Terre (gone non perturbés par l'atmosphère terrestre). La grande croix lumineuse est un artefact dû à l'analyse qui porte le meilleur secondaire du télescope.

Observation directe : très difficile car l'émission lumineuse de l'étoile masque celle de la planète.

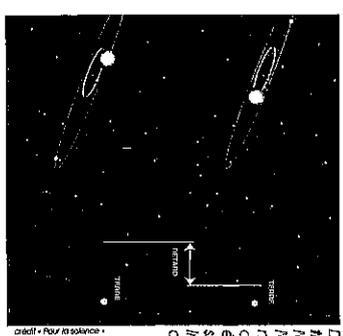
DÉTECTION INDIRECTE

On peut alors envisager des méthodes indirectes de détection. Si une planète est en orbite autour d'une étoile, l'ensemble tourne autour du centre de masse du système. On détecte ce fait de différentes manières.

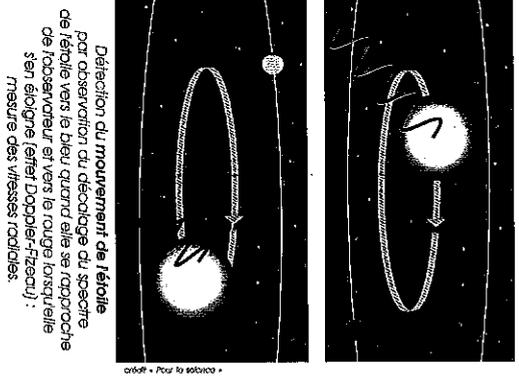
Quelques exemples de détection indirecte :



Détection de la variation de la position de l'étoile sur le plan du ciel : astrométrie.



Détection de la variation de la distance de l'étoile par rapport à l'observateur. Cette méthode est applicable aux couples qui sont des étoiles émiettées de signaux lumineux à intervalles très réguliers : céphéennes.



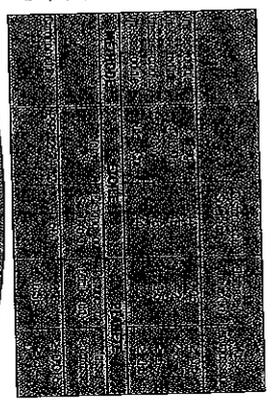
Détection du mouvement de l'étoile par observation du déplacement du spectre de l'étoile vers le bleu quand elle se rapproche de l'observateur et vers le rouge la qu'elle s'en éloigne (effet Doppler-Fizeau) : mesure des vitesses radiales.

QUANTON OBSERVÉ 150 ANS APRES LA DÉCOUVERTE DE NEPTUNE ?

La limite inférieure des masses est évaluable à partir des mesures de vitesses radiales. Pour 47 UMa, la limite supérieure est obtenue à partir de l'analyse des observations effectuées avec le satellite européen d'astrométrie Hipparcos.

Système solaire (planètes connues)	Distance (années-lumière)	Masses
51 Peg	42	0,47
20 Wg	35	0,046
47 UMa	42	0,046
HD 10180	120	0,046
HD 1237-12	125	0,046
HD 10180	120	0,046

Schéma comparatif des dimensions du système solaire et de celles des systèmes planétaires observés à ce jour.

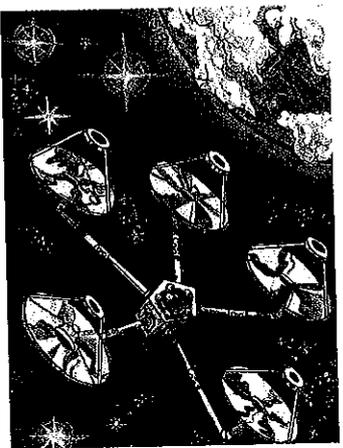


Vue d'artiste de 51 Peg et de sa planète extrêmement proche.

QUE SOUHAITONS-NOUS OBSERVER DEMAIN ?

Outre d'autres systèmes solaires, il serait intéressant de rechercher s'il existe une activité biologique sur certaines planètes. L'ozone, que seules les plantes et le plancton peuvent produire dans l'atmosphère d'une planète, pourrait être observé spectroscopiquement.

Dans ce but, l'Agence Spatiale Européenne (ESA), comme la NASA, étudie un projet de satellite qui pourrait être lancé aux alentours de 2010, s'il est retenu.



Vue d'artiste du projet européen DARWIN : interféromètre à annulation de franges, composé de 5 télescopes de 1,5 m de diamètre chacun, disposés en étoile sur un orbite de 25 m de diamètre. En supplantant la lumière en provenance de l'étoile, il est possible d'observer le spectre de l'atmosphère de la planète.

Il est possible de donner une classification selon la masse des corps :

- supérieure à 0,08 masse du Soleil (80 fois la masse de Jupiter¹⁰), ce sont les étoiles normales, produisant de l'énergie par fusion thermonucléaire ;
- entre 13 et 80 masses de Jupiter, ce sont les naines brunes qui ne font que brûler leur deutérium ; elles brillent très faiblement ;
- en dessous de 13 masses de Jupiter, on peut nommer les objets « planètes » par convention, mais il faut alors introduire des distinctions :
 - les « superplanètes » qui se sont formées, comme les étoiles, par simple condensation gravitationnelle d'un nuage de gaz ;
 - les « planètes géantes » qui se forment au contraire au sein d'un disque protoplanétaire de grains de glace, de silicates et d'hydrogène pour devenir des planètes gazeuses géantes ayant un cœur solide ;
 - enfin, les noyaux planétaires solides qui, pour différentes raisons, n'accrètent pas ou peu de gaz et deviennent des planètes telluriques.

Comment chercher et qu'a-t-on trouvé ?

L'idée la plus simple, lorsque l'on cherche un objet, est d'essayer de le voir, autrement dit d'en prendre une image. Aujourd'hui, il ne paraît guère possible de détecter une planète autour d'une étoile même avec un télescope à bord d'un satellite. En effet, l'apparence d'une étoile n'est jamais ponctuelle à cause de la diffraction de la lumière : elle forme une tache dont le diamètre est d'autant plus petit que le diamètre du télescope est grand. La taille de cette tache doit être comparée à la distance angulaire entre l'étoile et la planète à détecter. Il faut également prendre en considération le contraste entre la planète et la tache de diffraction de l'étoile. Si la tache est plus grande que la distance angulaire, la planète est noyée dans le halo de diffraction.

Mais des méthodes indirectes de détection peuvent être envisagées. Ainsi, la détection d'une planète peut être réalisée par l'observation des perturbations qu'elle produit sur les caractéristiques de l'étoile. En effet, si une planète existe près d'une étoile, les deux astres tournent autour de leur centre de gravité commun. Les paramètres de la trajectoire dépendent du rapport des masses de la planète et de l'étoile : plus la planète est massive, plus le mouvement de l'étoile est important.

On peut donc chercher à déceler ce mouvement de l'étoile. Trois méthodes sont envisageables :

- observer des perturbations de position. Ainsi, si l'on observait le couple Soleil/Jupiter d'une distance de 15 années-lumière⁸, la trajectoire apparente de l'étoile aurait un diamètre de 2 millièmes de seconde de degré. Pour les projets en cours d'étude actuellement, la précision avec laquelle on pourrait mesurer la position d'une étoile devrait être de 0,02 à 0,05 millième ;

- déterminer des variations de la vitesse de rotation d'une étoile. Au cours de la révolution orbitale de la planète autour de l'étoile, tantôt celle-ci se rapproche de l'observateur, tantôt elle s'en éloigne. L'amplitude maximale de la différence de

massive et proche de l'étoile, plus la vitesse de celle-ci est grande. Ainsi, la variation de la vitesse du Soleil due à Jupiter est de 13 mètres par seconde ; dans le cas de la Terre cette variation est de 10 centimètres par seconde. Pour mesurer la vitesse de l'étoile, on utilise l'effet Doppler-Fizeau qui déplace les raies du spectre vers le bleu ou vers le rouge, suivant que l'étoile s'approche ou s'éloigne de l'observateur. Bien entendu, cette vitesse de l'étoile est décelable à condition que la précision sur la mesure soit meilleure que la variation de vitesse à mesurer. C'est ainsi qu'a été découverte, par M. Mayor et D. Queloz en septembre 1995, l'existence d'un corps, ayant la moitié de la masse de Jupiter, en orbite autour de l'étoile 51 Peg (constellation de Pégase). Quelques mois plus tard, G. Marcy et R. Butler ont trouvé une planète autour de chacune des étoiles 55 Cnc (constellation du Cancer), 70 Vir (constellation de la Vierge) et 47 UMa (constellation de la Grande Ourse) ;

- mesurer les variations de la distance de l'étoile à l'observateur. S'il y a sur une étoile une horloge suffisamment précise et stable qui envoie des signaux à un observateur, celui-ci recevra le signal avec un retard ou une avance dû à la vitesse finie de propagation des ondes lumineuses. C'est probablement ce phénomène que l'on observe dans le cas du pulsar PSR 1257+12 autour duquel trois planètes ont été découvertes.

Alors que la découverte des premières planètes extra-solaires est tout récente, on peut déjà en tirer quelques enseignements. Elles ont toutes réservé des surprises. D'abord, les premières planètes ont été découvertes là où on les attendait le moins, autour d'un pulsar ! Ensuite, les planètes géantes autour d'étoiles de type solaire ont été trouvées là où elles ne devraient pas être puisqu'elles sont beaucoup trop près de leur étoile. Ces premiers résultats inattendus devraient conduire les astronomes à se préparer à l'imprévu...

Comment chercher des indices de vie biologique ?

Projetons-nous dans l'avenir et supposons qu'on ait trouvé une planète de type terrestre. Il se posera alors tout naturellement la question de savoir s'il s'y développe une activité de type biologique. Dans le cas de la Terre, l'atmosphère comporte 20 % d'oxygène. Or cette molécule, en se combinant avec d'autres éléments, disparaît. Comment se fait-il alors qu'il y en ait tant ? La réponse est simple : elle est en permanence régénérée par la respiration du plancton et des plantes sous l'action de la lumière solaire. Un observateur sur une autre étoile ne verrait pas nos plantes mais décelerai l'oxygène en abondance dans l'atmosphère.

C'est exactement le raisonnement que tiennent les astronomes pour chercher les signes d'une activité biochimique sur des planètes extra-solaires. Il semble en fait préférable, pour des raisons techniques, de rechercher non pas l'oxygène lui-même, mais l'ozone dans le spectre infrarouge. Dans ce but, les astronomes de l'Université d'Orsay et de l'Observatoire de Paris ont proposé à l'Agence spatiale européenne la construction d'un interféromètre spatial infrarouge à plusieurs télescopes (projet DARWIN).