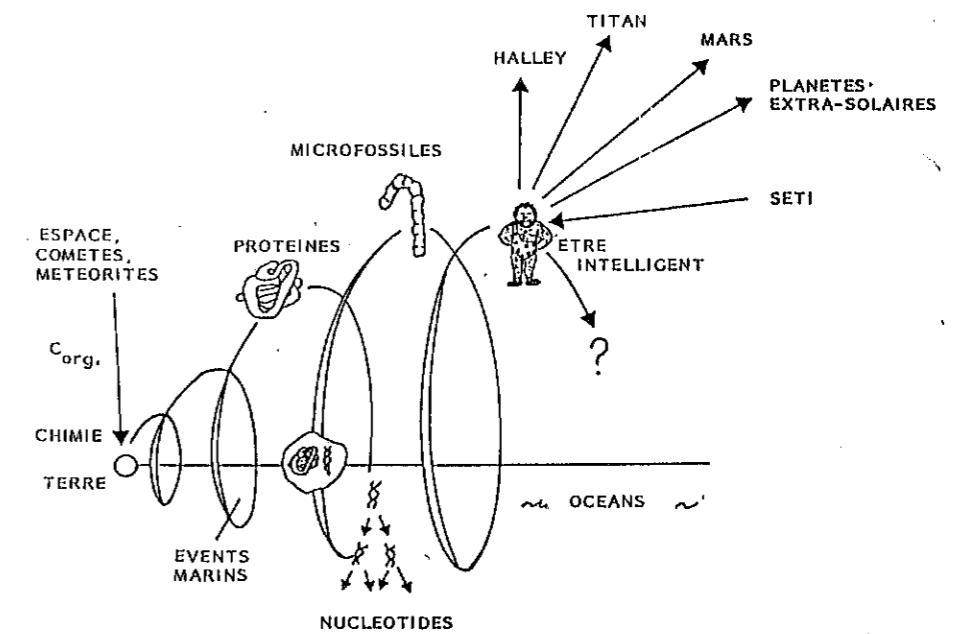


**COMPTES RENDUS**  
**DE LA**  
**JOURNEE EXOBIOLOGIE**

du 16 novembre 1988  
Salle de l'Espace, CNES, Paris



Edité par F. RAULIN<sup>1</sup> et A. BRACK<sup>2</sup>

↳ 3863 15 17 Fax  
3851 55 76 Plan.

<sup>1</sup> Laboratoire de Physico-Chimie de l'Environnement, Université Paris Val de Marne, Avenue du Général de Gaulle 94010 Créteil Cedex. Télax : 215 653 F; FAX : (1) 42 07 70 12; Téléphone : (1) 48 98 91 44 Poste 2495. ~~42071285 / Fax ph.~~ 45 17 15 40

<sup>2</sup> Centre de Biophysique Moléculaire, CNRS, 1A Avenue de la Recherche Scientifique, 45071 Orléans Cedex. Télax : 783 389 F; Téléphone : 38 63 10 04.

# LA RECHERCHE DES PLANETES EXTRASOLAIRES

Jean SCHNEIDER

CNRS Observatoire de Paris

92195 Meudon

## 1 INTRODUCTION

Par "planète" on entend un corps condensé, de masse inférieure à 0.01 masse ( $M_{\odot}$ ) et gravitant autour d'une étoile. Il y a au moins trois raisons de rechercher des planètes en dehors du système solaire (planètes "extrasolaires"):

1)elles sont, dans l'état actuel de nos connaissances en exobiologie les sites les plus probables d'une activité biologique (voir Feinberg et Shapiro 1980 pour une revue des autres sites possibles).

2)même si les premières planètes extrasolaires qui seront éventuellement détectées ne connaissent pas d'activité biologique, leur étude sera utile pour la compréhension de la formation des systèmes planétaires; cela pourra orienter les recherches ultérieures de planètes "habitables", tout en ayant des intérêts astrophysiques propres comme celui de la compréhension de la "masse cachée" dans l'univers.

3)si l'on trouve une planète proche du système solaire, elle constituera un objectif fortement attracteur d'ici au milieu du siècle prochain pour l'exploration spatiale à des vitesses de l'ordre de 0.5c. (voir Forward 1986, Finney 1988).

A ce jour, on n'a détecté de façon certaine aucune planète extrasolaire. Les voisinages d'étoiles détectés qui s'en rapprochent le plus sont les disques de poussières dits protoplanétaires et des étoiles sombres de très faibles masses (naines brunes). On ne dispose donc pas de base observationnelle pour se faire une idée de la proportion d'étoiles entourées d'un cortège planétaire.

On en est réduit actuellement à faire confiance aux modèles de formation des planètes et selon lesquels leur existence n'est pas un phénomène rare. (Norman et Weaver 1988). La non détection à ce jour de planètes extrasolaires ne contredit pas cette affirmation car comme nous le verrons cette détection est, avec les moyens actuels, difficile. Enfin, il convient de prendre conscience du fait qu'il y a, du point de vue de l'exobiologie, deux types de planètes: les planètes telluriques, "habitables", et les planètes 10 fois plus grandes et 100 fois plus massives (Joviennes), inhabitables.

## 2 Méthodes de détection

Il y a trois types de méthodes pour rechercher des planètes extrasolaires: celles qui observent les perturbations qu'elles induisent sur le mouvement de l'étoile centrale; celles qui, dans des circonstances favorables, observent photométriquement l'occultation partielle de l'étoile centrale par une planète située sur la ligne de visée; la détection directe où l'on cherche la lumière qu'elle émet.

### 2.1 Méthodes dynamiques

#### 2.1.1 Astrométrie

Une planète située à une distance  $L$  d'une étoile induit un mouvement apparent périodique de l'étoile d'amplitude

$$\alpha = (2L/D)(M_p/M_*)$$

(où  $D$  est la distance de l'étoile à la terre et les  $M$  sont les masses en jeu). Ainsi pour  $L = 5UA$ ,  $M_p = 10^{-3}M_\odot$ ,  $D = 10pc$ ,  $M_* = 1M_\odot$ , on a  $\alpha = 210^{-3}$ ".

Il faut comparer cet ordre de grandeur avec la précision accessible sur  $\alpha$ . Au sol elle est limitée par la turbulence atmosphérique et est au mieux de  $10^{-2}$ ". Pour mieux faire il faut donc aller dans l'espace où l'on est limité que par la tache de diffraction et donc par le diamètre du télescope. Ainsi avec le télescope spatial il sera possible de détecter des planètes "joviennes" jusqu'à  $5pc$ .

### 2.1.2 Variation de la vitesse radiale de l'étoile centrale

Dans la situation que précédemment, les perturbations de la trajectoire de l'étoile se traduisent par une variation périodique de vitesse avec une amplitude

$$v = \sin i 2M_p \sqrt{2G/LM_*}$$

où  $i$  est l'angle que font le plan de l'orbite de la planète et le plan du ciel. Dans le cas considéré plus haut,  $v = \sin i 10m/s$ . Pour une planète tellurique, ce chiffre tombe à  $0.03m/sec$ . On cherche à détecter ces variations périodiques dans le spectre des étoiles centrales. Ces mesures peuvent se faire par trois techniques différentes:

-soit on étudie la corrélation entre le spectre observé, décalé d'une quantité  $v/c$  à tester, et un spectre au repos de référence, la précision étant alors de  $100m/s$ .

-soit on affine la calibration en longueur d'ondes en faisant traverser par le faisceau lumineux issu de l'étoile une cuve de fluorure d'hydrogène; la précision est alors de  $10m/s$  (Campbell 1988 a).

-soit on procède, suivant la proposition de P. Connes (1984), à une analyse élaborée du signal, la précision pouvant alors théoriquement atteindre  $1m/s$ .

Latham et Al. 1988 d'une part et Mayor et Burki d'autre part ont annoncé la détection probable de ce qui est sans doute une naine brune par la première technique; mais cela demande encore confirmation; de toute façon il ne s'agit pas de planètes telluriques.

## 2.2 Méthode photométrique

Si l'observateur a la chance d'être dans le plan de l'orbite planétaire, il peut observer une diminution relative  $(\Delta E/E)_{Occ} = (R_p/R_*)^2$  de l'éclat de l'étoile qui est légèrement occultée pendant un temps  $T_{Occ} = 2(R_*/\pi)\sqrt{2GM_*/L^3}$  où les  $R$  sont les diamètres en jeu. La probabilité pour qu'un tel événement ait lieu au cours d'une révolution planétaire est

$$P_{Occ} = R_*/2\pi L.$$

Dans le cas de notre exemple typique,  $\Delta E/E = 10^{-2}$ ,  $T_{Occ} = 4h$  et  $P_{Occ} = 10^{-4}$ . Une telle occultation partielle est mesurable au sol pour une

planète Jovienne, dans l'espace (où la précision photométrique est meilleure) pour une planète tellurique (Borucki et Al. 1988). C'est cependant un évènement a priori improbable. C'est pourquoi on cherche à présélectionner les plans des orbites favorables. Pour ce faire, on peut soit déterminer l'axe de rotation de l'étoile centrale (supposé être plus ou moins perpendiculaire au plan de l'orbite) (Doyle 1988), soit remplacer l'étoile centrale par une binaire dont on connaît déjà le plan de l'orbite. Suivant qu'il s'agit d'une binaire à éclipse ou d'une binaire visuelle, l'observation est adaptée à l'espace ou au sol (Chevretton et Schneider 1989). Dans le cas d'une binaire à éclipse, on montre que la probabilité d'existence d'une occultation au cours d'une révolution planétaire peut aller jusqu'à 20% avec comme avantage supplémentaire qu'on doit alors observer des occultations multiples au cours d'une révolution de la planète (Schneider et Chevretton 1988). Sur un plan pragmatique, cette proposition est praticable si elle est associée à des programmes d'études d'oscillations stellaires comme il en existe au sol et dans l'espace (par exemple c'est un bon programme d'astronomie de "croisière" pour les sondes interplanétaires). On a montré que dans le cas d'une étoile binaire il existe encore des orbites planétaires stables (Benest 1988).

### 2.3 Détection directe

Comme les corps du système solaire, les planètes extrasolaires doivent réfléchir la lumière de l'étoile centrale avec un coefficient (albedo) de  $\approx 0.2$ . La proportion réfléchie est de

$$(\Delta E/E)_R = 0.2(R_p/L)^2$$

la planète étant située à une distance angulaire  $\beta = L/D$  de l'étoile. Il faut donc pouvoir détecter un objet très faible situé tout près d'un objet brillant. Seuls les télescopes spatiaux sont adaptés à cette technique. Il faut que  $\beta$  soit supérieur à la largeur angulaire  $\gamma = \lambda/D_{Tel}$  de la tache de diffraction,  $D_{Tel}$  étant le diamètre du télescope. Ainsi pour  $\lambda = 6000\text{\AA}$ ,  $\beta = 10^{-2}''$ , il faut un diamètre de  $3m$ . Sur le télescope spatial HST ( $D_{Tel} = 2.4m$ ) on se propose de détecter des planètes Joviennes avec la caméra européenne (FOC) en plaçant un masque devant l'étoile centrale.

On trouvera une revue d'autres moyens de détection proposés, plus exotiques, chez Scargle 1988.

### 3 Comparaison des méthodes

Pour discuter les approches qui viennent d'être résumées on peut les caractériser par 5 paramètres pertinents:

- le rayon  $R_p$  de la planète à chercher
- sa masse  $M_p$
- sa distance angulaire  $\beta$  à l'étoile centrale
- sa période de révolution  $T_p$ .
- sa distance  $D$  à la Terre.

Les méthodes dynamiques (astrométriques et spectroscopiques) marchent d'autant mieux que la masse  $M_p$  est plus grande. La méthode spectroscopique ne dépend de  $D$  que par l'éclat apparent de l'étoile. De plus elles nécessitent des observations suivies sur des périodes d'autant plus longues que  $T_p$  est plus grand. La méthode photométrique (occultation partielle) est favorable pour les grands  $R_p$  au sol, mais s'accommode de petits  $R_p$  (planètes telluriques) dans l'espace. Elle nécessite aussi une longue surveillance. De plus sa probabilité de succès est faible sauf dans le cas où l'on remplace l'étoile centrale par une binaire, auquel cas on peut contraindre les paramètres de l'orbite grâce aux occultations multiples. La méthode ne dépend de  $D$  que par l'éclat apparent de l'étoile. La détection directe a l'immense avantage de ne nécessiter qu'un petit nombre de clichés. Elle est limitée par le paramètre  $\beta$ . A long terme avec de grands télescopes spatiaux et peut-être des méthodes d'imagerie interférométrique au sol, c'est la prometteuse. Il se peut toutefois que les autres méthodes permettront d'ici là de déblayer le terrain.

### References

- [1] Benest D. 1988 2eme Alex. Von Humboldt coll. on celestial Mechanics. "Long terme evolution of planetary systems". à paraître dans Celestial Mechanics.
- [2] Borucki W., Allen L., Taylor W., Young A., Schaefer A. 1988 A photometric approach detecting Earth-sized planets. in "Bioastronomy-The next step" Balaton June 22-27(G. Marx ed. Kluwer), p113.

- [3] Campbell B., Walker G., Yang S. 1988 a A search for planetary mass companions to nearby stars. in "Bioastronomy-The next step" (G. Marx ed. Kluwer) Balaton June 22-27, P83
- [4] Campbell et Al. 1988 B Assemblée Générale de l'Union Astronomique Internationale, Baltimore
- [5] Chevreton M., Schneider J. 1989 à soumettre à *Astron. Astrophys.*
- [6] Connes P. 1984 Absolute astronomical accelerometry. in Symposium IAU no.113 "Search for extraterrestrial life" (Papagianis ed.) p.91 (Reidel)
- [7] Doyle L. 1988 Progress in determination for space orientation of stars. in "Bioastronomy-The next step" Balaton June 22-27(G. Marx ed. Kluwer), P101
- [8] Feinberg I., Shapiro R. 1980 Life Beyond the Earth (William Morrows Inc.)
- [9] Finney B. 1988 Will space change humanity? in "Frontières et conquête spatiale" (J. Schneider, M. Orine eds.) Kluwer
- [10] Forward R. 1986 Exotic propulsion for the *XXI<sup>st</sup>* century. *33<sup>rd</sup>* Meeting of the American Astronautical Society
- [11] Latham D. et Al. 1988 Assemblée Générale de l'Union Astronomique Internationale, Baltimore
- [12] Mayor M. Burki G. 1988 Assemblée Générale de l'Union Astronomique Internationale, Baltimore
- [13] Norman C., Weaver H. 1988 it Nature **334**, 474
- [14] Scargle 1988 Planetary detection techniques: an overview in "Bioastronomy-The next step" Balaton June 22-27 (G. Marx ed. Kluwer), P101
- [15] Schneider J., Chevreton M. 1988 à soumettre à *Astron. Astrophys.*