

# Prédiction des orbites des planètes et exo-planètes



Date de mise en ligne : vendredi 1er juin 2001

---

**Observatoire de Paris - PSL Centre de recherche en astronomie et  
astrophysique**

---

**Laurent Nottale (DAEC, Observatoire de Paris) et ses collaborateurs utilisent la théorie de la relativité d'échelle et ses conséquences sur la structure fractale des trajectoires, pour prédire statistiquement les orbites des planètes dans un système planétaire général, solaire ou extra-solaire. La prédiction des grand-axes et excentricités des orbites semble vérifiée statistiquement par les observations, lorsque l'on prend en compte à la fois notre système solaire et toutes les exoplanètes découvertes récemment.**

La théorie de la relativité d'échelle conduit à représenter les orbites comme des lignes fractales à très petite échelle ; il existe alors une infinité de trajectoires possibles, et une équation statistique en régit les probabilités. Ces probabilités ne sont pas uniformes, et on peut prédire comment vont se répartir les planètes autour d'une étoile donnée, en fonction de sa masse. Laurent Nottale et ses collaborateurs ont en particulier calculé des prédictions sur les demi-grands axes et les excentricités des orbites.

La prédiction théorique issue de cette nouvelle approche est que les vitesses moyennes des planètes doivent montrer des pics de probabilité pour des valeurs discrètes données par:  $v_n = w_0 / n$  où  $n$  est entier et où  $w_0$  est une vitesse fondamentale et universelle. Des observations indépendantes aux échelles extragalactiques ont montré que cette constante était de l'ordre de 144 km/s. Le rapport  $ag = w_0/c$  joue en fait le rôle d'une constante de couplage gravitationnelle. En raison de la troisième loi de Kepler,  $v$  varie comme  $(M/a)^{1/2}$  ou encore comme  $(M/P)^{1/3}$ , où  $M$  est la masse de l'étoile,  $a$  le demi-grand axe de l'orbite planétaire et  $P$  sa période. On prévoit donc des pics de probabilité pour des valeurs discrètes entières de la quantité  $4.83(P/M)^{1/3} = 4.83(a/M)^{1/2}$ . La constante 4.83 est la valeur de la vitesse fondamentale (144 km/s) en unités de vitesse de la Terre ; la période (qui est la grandeur directement observée en ce qui concerne les nouvelles exoplanètes, à travers le mouvement de l'étoile qu'elles induisent) est en années ; le demi-grand axe ( $a$ ) est en unité astronomique (1 UA= 149.7 millions de kilomètres, définie par la distance Terre-Soleil) ; enfin la masse de l'étoile ( $M$ ) est en unité de masse solaire. Les valeurs observées pour les exoplanètes découvertes depuis cinq ans (voir figures 1 et 2) sont en excellent accord avec ces prédictions : par exemple on trouve pour les deux premiers pics de probabilité  $a/M = 0.0438 \pm 0.0017$  UA/Msol et  $0.168 \pm 0.014$  UA/Msol, à comparer aux valeurs prédites 0.0430 et 0.171 UA/Msol. Il en est de même pour le système de trois planètes découvertes autour du pulsar B1257+12-, pour lesquelles l'accord relatif entre théorie et observations est de quelques dix-millièmes.

Figure 1. Distribution observée des demi-grands axes ( $a$ ) des orbites des exoplanètes et planètes du système solaire interne (en unité naturelle de longueur pour ces systèmes, donnée par la masse  $M$  de l'étoile). Les valeurs numériques reportées sont celles de  $a/M$  et de la vitesse moyenne  $v$  (reliés via la troisième loi de Kepler) ; l'échelle du tracé est en racine de  $(a/M)$ . On a porté en jaune les zones prévues théoriquement pour être de haute probabilité et en bleu celles de basse probabilité. Rappelons que l'existence de ces pics (donc la possibilité de grande proximité entre les exoplanètes et leur étoile, qui a étonné au moment de leur découverte) a été prévue théoriquement (L. Nottale, 1993, *Fractal Space-Time and Microphysics*, World Scientific) avant cette découverte, qui remonte à 1995 en ce qui concerne les étoiles de type solaire. Figure 2. Histogramme de la distribution des demi-grands axes (ramenés à la masse de leur étoile), pour les planètes extrasolaires et les planètes du système solaire interne. Les masses des étoiles utilisées pour construire cet histogramme sont celles données par les auteurs de la découverte des exoplanètes (incertitudes de l'ordre de 10%, qui devient donc 3% pour  $(P/M)^{1/3}$ ). La distribution observée est non uniforme : des pics de densité de probabilité apparaissent de manière très précise aux positions prédites, sans aucun ajustement. La probabilité d'obtenir un tel résultat par hasard est inférieure à  $2 \cdot 10^{-5}$ .

On prévoit que la distribution des excentricités ( $e$ ) des exoplanètes doit montrer des pics pour  $e = k/n$ , où  $k$  est entier et varie de 0 à  $n-1$ . La distribution observée est en accord statistiquement significatif avec cette prédiction théorique (voir figure 3). On s'attend donc à l'existence d'orbites circulaires possibles quel que soit le nombre quantique principal, mais aussi à celle d'orbites elliptiques. On rend ainsi compte de l'existence des grandes valeurs observées

de l'excentricité, qui constituait, avec les petites valeurs du demi-grand axe de certaines orbites d'exoplanètes, une des énigmes posées par les exoplanètes dans le cadre des théories standard de formation des systèmes planétaires. Figure 3. Histogramme de la distribution des excentricités (multipliées par le "nombre quantique" principal), pour les planètes extrasolaires et les planètes du système solaire interne. On prévoit des pics pour les valeurs entières de ce produit, ce que confirment les données d'observation. La probabilité d'obtenir un tel résultat par hasard est inférieure à  $10^{-4}$ . La probabilité combinée pour les deux effets de structuration (demi-grands axes et excentricités) est de  $3 \cdot 10^{-7}$ . Ces résultats vont dans le sens d'une universalité de structure des différents systèmes planétaires, incluant notre propre système solaire.

### Références :

- L. Nottale, G. Schumacher & E.T. Lefèvre, 2000, Astron. Astrophys. 361, 379 : "Scale relativity and quantization of exoplanet orbital semi-major axes" Nottale, N. Tran Minh, 2001, Astron. Astrophys. (soumis pour publication) : "Scale relativity and quantization of exoplanet eccentricities"

### Contact :

- L. Nottale  
(DAEC, Observatoire de Paris)
- N. Tran Minh  
(DAMAP, Observatoire de Paris)