

Des planètes aux orbites chaotiques

Les lois de la gravitation universelle imposent à certaines des planètes découvertes autour d'étoiles lointaines des comportements très différents de celui des astres du Système solaire.

En 1999, un système de trois planètes gravitant autour de l'étoile *Upsilon Andromedae* a été découvert par Paul Butler et ses collègues de l'Observatoire anglo-australien de Siding Springs. *Upsilon Andromedae* est une étoile semblable au Soleil située à 44 années-lumière ; elle est visible à l'œil nu dans l'hémisphère Nord. Ces trois planètes ont des masses importantes (respectivement de l'ordre de une, deux et quatre fois la masse de Jupiter). Il s'agit de planètes géantes qui gravitent relativement près de leur étoile (si ces planètes géantes étaient dans le Système solaire, toutes les trois seraient contenues à l'intérieur de la ceinture d'astéroïdes entre Mars et Jupiter). Ainsi, elles sont plus proches les unes des autres que les planètes géantes du Système solaire. De ce fait, les interactions gravitationnelles qui s'exercent entre ces trois astres sont considérables et doivent rendre leurs trajectoires fort complexes. Éric Bois et ses collègues de l'Observatoire des sciences de l'Université de Bordeaux ont construit une série de modèles de systèmes planétaires leur permettant d'étudier les orbites de ces planètes pour différentes configurations compatibles avec les observations faites sur ces systèmes. Leurs calculs montrent que les trajectoires des planètes au voisinage d'*Upsilon Andromedae* sont, dans la plupart des cas, chaotiques. Leurs résultats suggèrent que beaucoup de systèmes planétaires découverts autour d'étoiles lointaines sont dynamiquement très différents du Système solaire.

Dans le cas du Système solaire, les interactions entre les planètes sont faibles. De ce fait, on peut calculer l'orbite de chaque planète en ne considérant, dans un premier temps, que son interaction avec le Soleil : on obtient alors les orbites en forme d'ellipse découvertes par Johannes Kepler. On peut ensuite moduler ces ellipses à l'aide des effets complémentaires

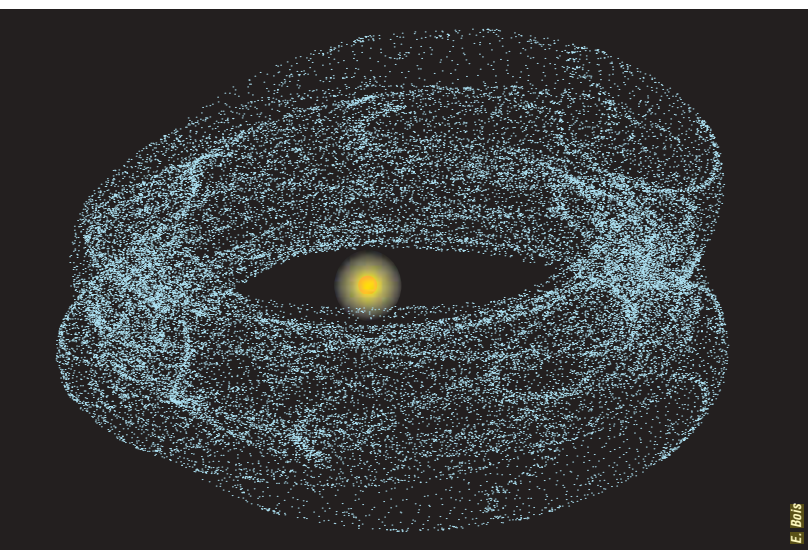
produits par la présence des autres planètes. Dans le cas du système d'*Upsilon Andromedae*, cette approche est impossible.

É. Bois, A. Maciejewski, B. Dauphole, K. Gozdzewski, L. Kiseleva et N. Rambaux ont utilisé un modèle numérique simulant les interactions gravitationnelles en jeu dans le système d'*Upsilon Andromedae*. Ils ont placé les trois planètes dans différentes configurations initiales compatibles avec les observations. En effet, les méthodes actuelles de détection des planètes autour d'étoiles lointaines ne permettent d'évaluer que leurs périodes de révolution et une valeur minimale de leurs masses. De ce fait, plusieurs paramètres, par exemple, les masses exactes des planètes et l'inclinaison dans l'espace de leurs orbites respectives, ne sont pas complètement déterminés par les mesures.

Le système *Upsilon Andromedae* est très instable : les caractéristiques des orbites varient de façon chaotique et sont radicalement modifiées en quelques milliers d'années. C'est le cas, par exemple, de leurs excentricités (un paramètre qui détermine l'aplatissement d'une trajectoire elliptique par rapport au cercle parfait). L'excentricité d'une orbite elliptique est comprise entre zéro (correspondant à une orbite circulaire) et une valeur inférieure à un (correspondant à une orbite parabolique). Si l'excentricité devient égale ou supérieure à un, la planète est éjectée du système. Alors que les orbites du Système solaire sont durablement stables et restent proches d'un plan moyen, les simulations montrent que l'excentricité de la deuxième planète d'*Upsilon Andromedae*, par exemple, peut assez rapidement balayer près de 60 pour cent de l'intervalle des valeurs de l'excentricité d'une ellipse. É. Bois et ses collègues ont même montré que, pour certaines conditions initiales compatibles avec les observations, le système est tellement instable qu'il se désintègre en éjectant sa planète la plus extérieure dès les premiers 1 000 ans.

Par ailleurs, les trajectoires de ces planètes ne peuvent pas être des figures planes. En mécanique, on montre que si la force qui s'exerce entre deux masses est portée par une droite passant par leurs centres de gravité respectifs, le mouvement qu'elles adoptent reste toujours dans un même plan. Cependant, si les deux corps ne sont pas rigoureusement sphériques, il faut, pour calculer leur attraction mutuelle, découper chaque astre en petits volumes élémentaires et calculer la somme de leurs interactions mutuelles. En général, la force résultante ne permet plus, en toute rigueur, que le mouvement des planètes soit confiné dans un plan, même si son effet est très faible. Toutefois, le système d'*Upsilon Andromedae* est chaotique et très sensible aux petites perturbations, de sorte que cette interaction élémentaire est suffisante pour empêcher les planètes de graviter dans un plan commun autour de leur étoile.

Ainsi, notre Système solaire, avec ses orbites durables, ne semble pas être un modèle universel. De nombreuses étoiles semblables au Soleil ont des températures et des longévités qui seraient favorables à l'apparition de la vie, mais si elles sont dotées de planètes semblables à celles d'*Upsilon Andromedae* – dont les conditions climatiques doivent varier brutalement au rythme de leurs trajectoires chaotiques – il est peu probable que la lente évolution chimique nécessaire au développement d'une biosphère puisse y avoir lieu. L'étude dynamique des nouveaux systèmes planétaires pourra peut-être, à l'avenir, fournir des indications aux exobiologistes qui cherchent à déterminer la fréquence à laquelle la vie apparaît dans l'Univers. Par ailleurs, avec les méthodes actuelles de détection, la détermination des masses et des orbites des planètes extrasolaires dépend d'une hypothèse implicite : on leur attribue des trajectoires elliptiques assez stables. Les comportements dynamiques mis en évidence par l'équipe de Bordeaux incitent à la prudence quant à la validité de cette hypothèse. La célébrité de Kepler ne saurait traverser tout l'Univers !



Les trois planètes qui gravitent autour de l'étoile *Upsilon Andromedae* (au centre) ont des trajectoires chaotiques, comme l'illustre cette simulation, réalisée à Bordeaux. Elle représente les 17 000 premières révolutions de la deuxième planète de ce système (les échelles n'ont pas été respectées).