

avait persisté pendant 56 jours ! Cette durée signifiait que l'objet devait avoir une taille supérieure à 180 millions de kilomètres.

Seules quelques explications plausibles sont compatibles avec un objet d'une telle taille. Une par une, nous les avons envisagées, et nous les avons écartées. S'agirait-il d'une ceinture de poussières en orbite près de l'étoile ? Non, car aucun rayonnement infrarouge n'a été observé autour de J1407, un tel rayonnement étant révélateur de la présence de poussières chaudes. Devrions-nous imaginer un système binaire constitué d'une étoile de type géante rouge capable d'éclipser son plus petit compagnon (une naine blanche, une étoile à neutrons ou un trou noir) ? Non, car ces systèmes émettent beaucoup plus de rayons X, et J1407 ne semble pas être une étoile géante.

Ce clignotement serait-il dû à l'ombre créée fortuitement par un objet flottant dans l'espace interstellaire profond, entre la Terre et l'étoile ? J1407 serait-il un système complexe à trois étoiles dont l'un des compagnons, large de 180 millions de kilomètres, produirait des éclipses ? Aucune de ces possibilités ne correspondait davantage aux données. En fin de compte, l'explication compatible avec toutes les observations et qui restait la plus simple demeurait toutefois bien étrange : les chutes mesurées de la luminosité seraient le fait d'un système d'anneaux géant (quelque 200 fois plus

étendu que celui de Saturne) en orbite autour d'une planète invisible qui serait passée devant son étoile J1407, en 2007.

Mais quels indices nous ont menés sur la piste d'un système d'anneaux ? Le niveau de détail visible à toutes les échelles temporelles était sans doute la caractéristique la plus frappante de la courbe de luminosité : l'éclipse globale durait 56 jours, mais des changements rapides se produisaient parfois en seulement vingt minutes. Ces derniers nous amenèrent à penser que l'objet masquant avait de nombreuses sous-structures. En outre, la forme quasi symétrique de la courbe de luminosité suggérait un objet de géométrie elliptique ou circulaire, à l'image du système d'anneaux de Saturne. Si notre approche est juste, ces immenses anneaux planétaires seraient les premiers à être découverts en dehors du Système solaire.

La chasse aux planètes

Si nous étions réellement face à un système d'anneaux géant, alors il devrait y avoir une planète également géante autour de J1407 qui maintiendrait ces anneaux en place. Nous nous sommes donc mis en quête de cette planète, que nous nommons J1407b, à l'aide de deux des plus imposants observatoires : le télescope de 10 mètres de diamètre Keck II, à Hawaï, et le télescope VLT de 8,2 mètres, au Chili.

Même les plus massives et les plus brillantes des planètes restent faiblement lumineuses et difficiles à distinguer aux abords de leur étoile hôte. Par chance, J1407 est une jeune étoile dont l'âge est estimé à seulement 16 millions d'années : toute planète gazeuse géante en orbite autour d'elle brillerait encore fortement dans l'infrarouge en raison de la chaleur de sa récente formation. Étant donné la distance qui nous sépare de J1407, une planète se déplaçant sur une orbite équivalente à Jupiter (la plus importante des planètes du Système solaire) serait séparée de l'étoile d'un angle de 50 millisecondes. Cette valeur est équivalente à la distance entre les poteaux de but d'un terrain de foot vus depuis la surface de la Lune. Bien que difficile, une telle observation est à notre portée.

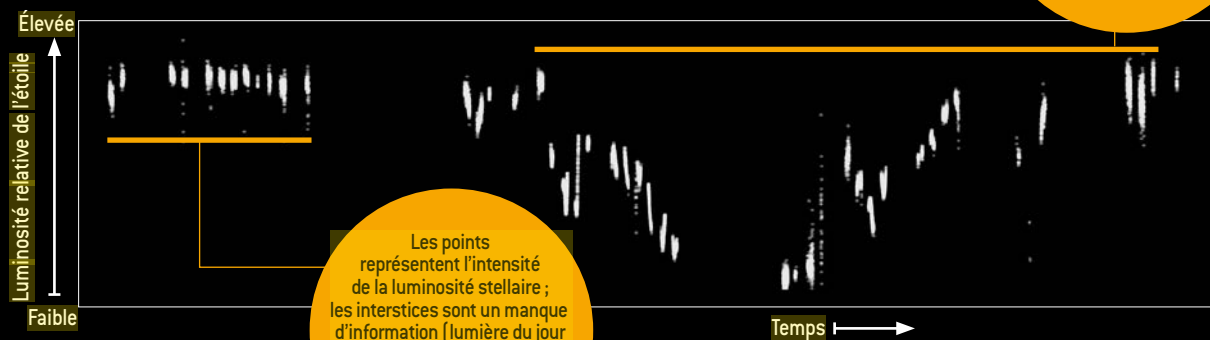
Pendant deux ans, nous nous sommes attelés à obtenir une « image » de la planète tout en traquant les oscillations de l'étoile dues à la faible force d'attraction de cet objet invisible en orbite. Pour chaque révolution de la planète, l'étoile montrerait un balancement latéral infime. Nous avons également mis à contribution un réseau d'astronomes professionnels et amateurs afin d'effectuer un suivi de la luminosité de J1407 toutes les nuits, à la recherche d'une nouvelle atténuation qui signalerait le début d'une éclipse.

Hélas, nous n'avons rien trouvé. Ce résultat n'invalide pas pour autant l'existence de la planète ; même dix fois plus

UN CURIEUX MOTIF D'OMBRES ET DE LUMIÈRE

Une courbe de luminosité (le tracé de la variation de luminosité d'un objet en fonction du temps) est un outil essentiel pour étudier les étoiles. Une brève augmentation de la luminosité résulte parfois d'une éruption stellaire, tandis qu'une baisse momentanée signale le surgissement des taches stellaires ou l'ombre d'une planète en orbite. Mais les fluctuations complexes de la courbe de luminosité de l'étoile J1407 en 2007 (ci-dessous) ne ressemblent à rien de connu. Par un étrange phénomène, l'étoile a scintillé et pâli pendant plusieurs mois.

Pendant 56 jours, la luminosité de J1407 a fortement chuté, ce qui laisse penser que l'étoile a été masquée par un objet de 180 millions de kilomètres de diamètre.



Les points représentent l'intensité de la luminosité stellaire ; les interstices sont un manque d'information (lumière du jour ou mauvais temps). Les variations de la luminosité suggèrent une structure cachée.

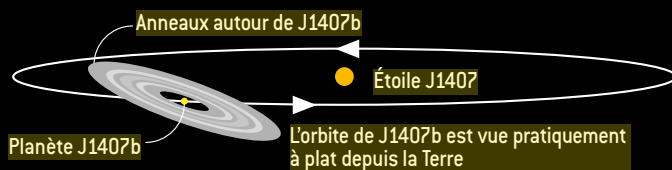
massive que Jupiter, J1407b aurait pu aisément nous échapper. Il est également possible que nous ayons regardé au mauvais moment, lorsque la planète restait cachée derrière son étoile. Cependant, ces non-détections nous ont au moins permis d'éliminer certains types de compagnons, telles des étoiles de faible masse dont nos instruments auraient révélé l'éclat.

Malgré les doutes, nous avons persisté, essayant de déduire l'architecture des anneaux dont nous supposons la présence autour de J1407b. De longs mois durant, notre équipe a développé des modèles informatiques pour extraire de l'information sur la constitution et la structure tridimensionnelle des anneaux à partir de la courbe de luminosité de J1407.

Face au tableau blanc et réfléchissant au problème avec plusieurs autres collègues, nous avons soudain eu une idée : même si nous ne connaissions pas le nombre exact et la localisation des anneaux, la pente des segments de la courbe de luminosité est susceptible de nous renseigner sur la géométrie globale du système d'anneaux, tel son alignement avec l'étoile centrale.

COMMENT CARTOGRAPHIER

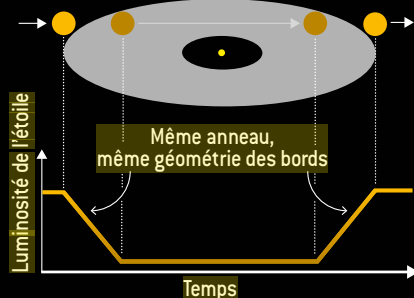
Après avoir envisagé tout un éventail d'explications possibles, les astronomes ont conclu que le scintillement de l'étoile devait être dû à l'ombre saccadée d'un vaste système d'anneaux porté par une planète invisible en orbite autour de l'étoile. Pour le démontrer, ils ont créé un modèle numérique de ce système afin de tester les différentes configurations d'anneaux susceptibles d'induire une telle variation dans la courbe de luminosité.



Du point de vue de l'observateur, le passage d'une planète devant une étoile équivaut au passage d'une étoile derrière la planète ; par souci de simplicité, c'est cette seconde perspective qui a été adoptée ci-dessous.

Trajectoire de l'étoile derrière les anneaux

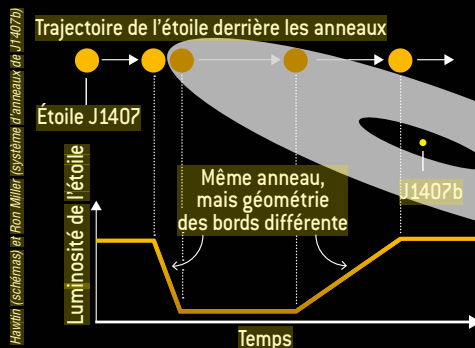
Trajectoire de l'étoile derrière les anneaux



MODÈLE DE BASE

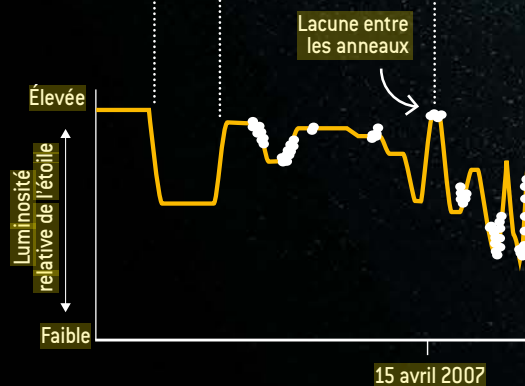
Tout système d'anneaux autour d'une planète forme un ensemble symétrique d'ellipses gigognes. Si cette planète transite devant son étoile et que son système d'anneaux est précisément aligné avec notre ligne de visée, la signature du transit dans la courbe de luminosité sera symétrique. Quand un anneau passe devant l'étoile, son bord d'attaque va projeter une ombre, suivie un peu plus tard d'une seconde ombre correspondant à son bord de fuite. Dans ce scénario idéal, la symétrie permet de compter facilement les anneaux et de cartographier leurs espacements.

Trajectoire de l'étoile derrière les anneaux



SYSTÈME INCLINÉ

En réalité, la plupart des systèmes d'anneaux apparaîtront très probablement inclinés, ce qui produira une courbe de luminosité dissymétrique. Dans ces cas, l'inclinaison, le nombre et l'espacement des anneaux seront mesurés grâce aux propriétés des pentes de la courbe de luminosité.



Grâce à cette idée, nous étions désormais en mesure de compléter notre modèle informatique qui décrit les anneaux et de produire des courbes types fondées sur des hypothèses d'orientation et d'inclinaison des anneaux. Comme nous l'espérions, l'une des configurations testées correspondait exactement aux motifs observés dans les données de luminosité de J1407!

Armés de ce nouvel élément, nous avons déterminé la structure du système, reliant chaque partie de la courbe de luminosité à différents anneaux distribués autour de la planète J1407b. Chaque rupture de la pente de la courbe de luminosité marque le début ou la fin du transit d'un anneau devant l'étoile. Ainsi, le décompte de ces points d'inflexion nous indique la présence

d'au moins vingt-quatre anneaux. Si l'on prend en compte le manque de données inhérent aux occasionnelles mauvaises conditions d'observation nocturne, nous estimons que le système comporte probablement une centaine d'anneaux.

Nous avons le privilège de saisir le système d'anneaux de J1407b à un stade particulier de son évolution. En effet,

UN SYSTÈME D'ANNEAUX

