

vers le cœur du système sur des orbites très étroites et étirées. Scott Sheppard a aussi imaginé des effets de marée galactiques – des forces se manifestant lorsque le Soleil passe dans des régions plus ou moins denses lors de son périple autour de la Voie lactée. L'astronome concède que les simulations numériques d'un tel phénomène n'ont rien donné de probant. Mais d'autres scénarios de ce genre sont encore à explorer.

Ainsi, plusieurs effets sont susceptibles d'avoir envoyé ces corps glacés hors norme sur des orbites oblongues, mais seule l'hypothèse de la super-Terre reproduit les caractéristiques de ces objets lointains. Cette hypothèse ou le hasard !

Les indices sont finalement peu nombreux. Les douze objets étudiés par Scott Sheppard et Chad Trujillo ne sont que bien peu de corps parmi les millions que compterait la ceinture de Kuiper. Le phénomène est vraiment marginal et le devient d'autant plus si l'on suit le point de vue de Meg Schwamb et de son collègue Ramon Brasser, de l'institut de technologie de Tokyo. Selon Meg Schwamb, leurs travaux montrent que, parmi les douze objets, seuls quatre sont vraiment similaires à Sedna ; les autres s'approchent assez de Neptune pour subir un effet gravitationnel qui expliquerait leurs propriétés. « L'alignement des quatre autres », ajoute Ramon Brasser, « pourrait alors être le fruit du hasard avec une probabilité d'environ 1 % ». Cependant, un tel résultat ne permet ni d'exclure ni de confirmer l'hypothèse d'une planète X.

Les planétologues ont appris à être prudents. Dans les années 1980, le physicien Richard Muller, de l'université de Californie à Berkeley, pensait expliquer les extinctions massives des espèces sur Terre en invoquant une étoile peu lumineuse ou une naine brune – un objet de masse intermédiaire entre une étoile et une grosse planète – en orbite autour du Soleil à une distance de 10 000 UA. Ainsi, tous les 26 millions d'années environ, cet astre, que le chercheur a surnommé Némésis, perturberait quelques comètes du nuage d'Oort (une ceinture de corps glacés située bien au-delà de l'orbite de Sedna) et les propulserait vers la partie interne du Système solaire. La collision de ces comètes et de la Terre aurait provoqué la disparition de nombreuses espèces vivantes.

Toutes les recherches de Némésis se sont soldées par un échec. Le programme d'observation *Wide-field Infrared Survey Explorer* (WISE) de la Nasa n'a rien détecté. Kevin Luhman, qui a conduit l'étude, explique : « Nous aurions dû voir tout objet de la taille de Jupiter présent jusqu'à une distance d'environ 30 000 à 40 000 UA du Soleil. Et nous devrions voir un objet de la taille de Saturne s'il se trouve jusqu'à 10 000 à 15 000 UA. » Ils n'ont rien vu. Une super-Terre telle que la planète X serait plus proche, mais aussi

« Il faudra environ cinq ans pour trouver la planète X avec un télescope tel que Subaru »

Mike Brown et Konstantin Batygin

moins brillante et plus petite, de quoi échapper à l'œil affûté de WISE.

Avec seulement une poignée d'objets pour se mettre sur la bonne voie, les planétologues ne peuvent pas encore dire si une super-Terre se cache dans le Système solaire. L'observation d'autres objets ayant les mêmes caractéristiques orbitales est cruciale. En novembre 2015, les astronomes ont donc été très enthousiastes à l'annonce de la découverte de V774104, dont le périhélie est encore plus éloigné du Soleil que celui de Sedna.

Pour Scott Sheppard, qui était à la tête de l'équipe ayant découvert cet objet, il est trop tôt pour dire si son orbite confirme ou infirme l'hypothèse d'une planète géante cachée. Et il est prématuré de se prononcer sur les quarante autres objets que l'équipe a repérés dans ce qui est

« la plus vaste étude des confins du Système solaire jamais menée ». Mais plus ils accumuleront de données, plus les chercheurs pourront conclure quant à la présence d'un corps massif.

Début janvier 2016, Mike Brown et Konstantin Batygin ont conforté l'hypothèse d'une planète X de type super-Terre d'une dizaine de masses terrestres (voir l'entretien page ci-contre). Leurs simulations numériques expliquent plusieurs caractéristiques des orbites des KBO, mais elles décrivent aussi d'autres objets connus dont les orbites sont très inclinées par rapport au plan de l'écliptique. C'est le cas de Drac, découvert en 2008, dont l'orbite est inclinée de 108 degrés par rapport à l'écliptique. Alessandro Morbidelli, de l'observatoire de la Côte d'Azur et spécialiste du Système solaire trouve ces arguments convaincants (voir l'entretien pages 34 et 35).

Il reste à observer cette planète ! Les planétologues ont hâte de disposer du LSST (*Large Synoptic Survey Telescope*), un télescope en cours de construction au Chili et qui devrait être opérationnel en 2021. Il ne sera pas plus grand que les télescopes actuels, mais son champ de vision lui permettra de scruter de plus vastes régions du ciel.

Pour l'instant, indique Chad Trujillo, les astronomes ont fouillé environ 10 degrés carrés du ciel – la pleine lune, par comparaison, couvre un quart de degré carré – à la recherche d'objets peu brillants. Le LSST pourra surveiller des dizaines de milliers de degrés carrés. Si une super-Terre se cache dans un recoin du Système solaire, et si elle est assez grande et lumineuse, le LSST pourra la débusquer.

Faudra-t-il attendre 2021 ? Pas sûr. En décembre dernier, des astronomes ont annoncé qu'ils avaient peut-être pris des images d'une super-Terre en utilisant le système *Alma* (*Atacama Large Millimeter/submillimeter Array*) au Chili, mais la plupart de leurs collègues restent sceptiques. Par ailleurs, les résultats récents de Mike Brown et Konstantin Batygin restreignent la zone du ciel à étudier. D'après eux, il faudra cinq ans environ pour fouiller ce champ avec un télescope déjà opérationnel tel que *Subaru*, au Japon. La chasse est ouverte ! ■

« Les nouveaux arguments en faveur de l'existence d'une neuvième planète sont convaincants »

Des simulations suggèrent qu'une planète dix fois plus massive que la Terre serait située bien au-delà de Pluton.

Elle expliquerait les orbites des objets les plus lointains du Système solaire. Un scénario en accord avec les modèles de formation des planètes.

Entretien avec Alessandro Morbidelli



Alessandro MORBIDELLI est astronome à l'observatoire de la Côte d'Azur et spécialiste de la dynamique du Système solaire.

DR

Cent soixante-dix ans après la découverte de Neptune – et dix ans après que Pluton a été déclassée en planète naine –, le Système solaire compte-t-il enfin une planète de plus ? Dans un article publié le 20 janvier dans *The Astronomical Journal*, Mike Brown et Konstantin Batygin, de l'institut de technologie de Californie, affirment qu'une planète massive se cache dans les confins du Système solaire. Bien que l'annonce ait fait sensation, cette « planète 9 » est loin d'avoir été observée ! Les astronomes ont déduit sa présence de l'analyse des orbites de certains petits corps glacés situés au-delà de Neptune. Mais pour Alessandro Morbidelli, chercheur à l'observatoire de la Côte d'Azur et spécialiste de la dynamique du Système solaire, cette neuvième planète a de fortes chances d'être bien réelle. Il nous explique pourquoi.

POUR LA SCIENCE

Quelles sont les caractéristiques de la planète supposée ?

ALESSANDRO MORBIDELLI : Elle serait environ dix fois plus massive que la Terre et située sur une orbite très lointaine et très elliptique : au plus près, elle passerait à environ 250 unités

astronomiques du Soleil (l'unité astronomique, ou UA, est la distance moyenne Terre-Soleil, soit 150 millions de kilomètres) – soit 8 fois plus loin que Neptune –, et s'éloignerait au-delà de 1 200 UA. Son orbite serait très inclinée, d'environ 30 degrés par rapport à l'écliptique (le plan de révolution de la Terre). Les calculs ne disent rien sur sa composition, mais étant donné sa masse, on peut penser qu'elle ressemblerait à une petite Neptune, avec un noyau rocheux et une enveloppe de gaz. Si elle existe, ce n'est pas une planète naine, on peut vraiment parler de neuvième planète !

PLS

Puisqu'elle n'a pas été observée directement, qu'est-ce qui suggère son existence ?

A. M. : L'alignement étrange des orbites de certains petits objets situés aux confins du Système solaire. Au-delà de l'orbite de Neptune (à 30 UA), il existe une vaste population de petits corps : la ceinture de Kuiper. Son plus célèbre représentant – mais pas le plus gros – est Pluton. Mais en 2003, une équipe dirigée par Mike Brown a découvert Sedna, un objet encore plus lointain, dont l'orbite s'étend entre 76 et 950 UA, hors de l'influence de Neptune. On a découvert depuis treize objets semblables, qui s'approchent au plus près au niveau de Neptune et s'éloignent au moins jusqu'à 300 UA.

PLS

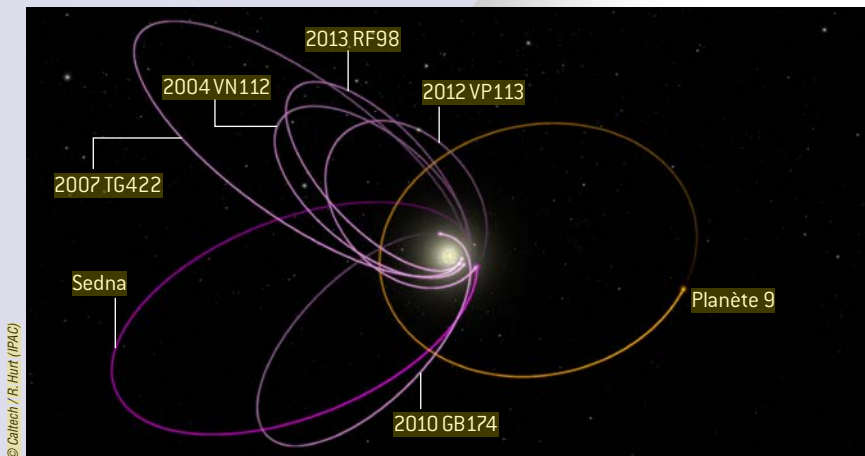
Qu'est-ce qui peut expliquer les orbites de ces objets distants ?

A. M. : En 2014, après avoir découvert le dernier connu, VP 113, Scott Sheppard, de l'institut Carnegie pour les sciences, à Washington, et Chad Trujillo, de l'observatoire Gemini, à Hawaï, ont remarqué que tous ces objets ont une caractéristique commune : ils passent à leur périhélie (le point de l'orbite le plus proche du Soleil) quand ils croisent le plan de l'écliptique et en se déplaçant du sud vers le nord. Les deux astronomes ont alors imaginé que cette configuration pouvait résulter de l'influence de planètes massives et lointaines, mais sans parvenir à le démontrer.

PLS

Que manquait-il pour y parvenir ?

A. M. : Mike Brown et Konstantin Batygin ont poussé plus loin l'analyse des objets distants et ont fourni des arguments convaincants. Ils ont montré que sept d'entre eux ont en fait une orbite chaotique, et se trouvent dans un « alignement » de circonstance. En revanche, les six autres objets, dont Sedna et VP 113, sont dans un véritable alignement physique : leurs orbites sont dans un même plan, incliné d'environ 20 degrés, et sont d'orientations voisines. Le duo



LES ORBITES DES SIX OBJETS LES PLUS DISTANTS DU SYSTÈME SOLAIRE

(en violet) sont regroupées dans la même région et dans un même plan incliné par rapport au plan du Système solaire. Une telle configuration serait maintenue par l'influence d'une planète de 10 masses terrestres sur une orbite « anti-alignée » (en orange).

a calculé que cela n'avait que 0,007 % de chance d'être dû au hasard. Il doit donc y avoir un corps massif dont l'influence gravitationnelle maintient ces objets dans cette configuration.

PLS

Comment les deux astronomes ont-ils déterminé les caractéristiques de ce corps ?

A. M. : Tester toutes les masses et orbites possibles serait beaucoup trop lourd. Konstantin Batygin a d'abord réduit le problème à des configurations planes pour déterminer certains paramètres, puis est « remonté en sens inverse » en élaborant des modèles plus complexes. Il a abouti à un modèle qui prend en compte l'évolution de tous les corps en jeu sur plus de 4 milliards d'années.

Les simulations numériques de ce modèle indiquent qu'avec une planète de 10 masses terrestres placée au départ sur une orbite entre 250 et 1 200 UA, les seuls corps distants qui subsistent après 4 milliards d'années évoluent sur des orbites similaires à celles des six objets observés. L'orbite de la neuvième planète supposée est dans le même plan, mais dans la direction opposée.

En outre, le modèle prédit que cette planète injecte aussi un autre groupe d'objets sur des orbites presque perpendiculaires au plan de l'écliptique, voire rétrogrades. Or depuis 2002, on a découvert cinq objets qui correspondent à cette description et dont l'origine restait inexpliquée.

PLS

Mais d'où viendrait cette planète ? Il paraît peu probable qu'elle ait pu se former au-delà de la ceinture de Kuiper.

A. M. : En effet. Mais mes collègues André Izidoro et Sean Raymond, de l'observatoire de Bordeaux, et moi avons justement étudié un scénario sur la formation d'Uranus et de Neptune qui s'accorde bien avec l'hypothèse de la neuvième planète.

Revenons dans le premier million d'années du Système solaire. Jupiter et Saturne sont déjà formées, mais pas Uranus et Neptune. Or l'axe de rotation de ces deux planètes est très incliné (respectivement 98° et 30°). Seules des collisions majeures peuvent expliquer un tel basculement.

Nous avons donc imaginé un modèle où Uranus et Neptune se sont formées à partir de protoplanètes de 5 à 7 masses terrestres. Perturbées par Jupiter et Saturne, certaines entrent en collision et fusionnent pour engendrer des planètes plus massives, comme attendu. Mais dans ce jeu de billard cosmique, il y a toujours d'autres protoplanètes qui sont repoussées par les deux géantes et éjectées du Système solaire.

Or le Soleil est né dans un amas stellaire en même temps que des centaines d'étoiles sœurs, qui se sont depuis dispersées. Dans ces conditions, des chercheurs ont calculé que ces proches voisines auraient empêché 15 à 20 %

des protoplanètes éjectées de s'échapper en les confinant sur des orbites très elliptiques.

Ce scénario, déjà avancé pour Sedna, fonctionne bien pour la neuvième planète. Une autre possibilité, avancée par Konstantin Batygin, est que le gaz du disque protoplanétaire aurait pu freiner la protoplanète éjectée au point qu'elle finisse par se stabiliser sur une orbite elliptique, mais cela reste à montrer.

PLS

Cette découverte rappelle celle de Neptune : en 1846, Urbain Le Verrier avait prédit son existence et sa position en analysant les perturbations de l'orbite d'Uranus. À la différence près que Neptune avait été immédiatement observée là où Le Verrier l'avait indiquée. Quelles sont les chances d'observer la neuvième planète ?

A. M. : Il s'agit d'un objet très peu lumineux. Si l'on suppose que son albédo (la façon dont elle réfléchit la lumière) est similaire à celui de Neptune, sur la partie la plus éloignée de son orbite, la neuvième planète doit avoir une magnitude de 23, soit 1 500 fois plus faible que celle de Pluton !

En outre, on ignore où elle se trouve sur son orbite. Sa période est de l'ordre de 20 000 ans, et elle passe la majorité de son temps sur la partie de son orbite éloignée du Soleil. En 2013, le relevé du ciel *Wise* (*Widefield Infrared Survey Explorer*) a permis d'écarter l'existence d'une planète de la taille de Saturne ou plus à moins de 10 000 UA, mais cela n'exclut pas l'existence d'une planète plus petite que Neptune. D'autres observations semblent écarter la présence de la neuvième planète vers son périhélie.

Autre problème : les grands télescopes capables de détecter un objet si faible (*Hubble*, *Keck*, etc.) ont des champs de vision très étroits. Mike Brown et Konstantin Batygin, ainsi que Scott Sheppard et Chad Trujillo, se sont tournés vers le télescope de 8 mètres de diamètre *Subaru*, à Hawaï, dont le champ est plus large, pour chercher la neuvième planète. Mais il faudra peut-être attendre l'entrée en service en 2021 du LSST, un télescope 8,5 mètres doté d'un champ de 9,6 degrés carrés. Avec cet instrument, si l'on n'a pas observé la neuvième planète d'ici à 2030, on pourra conclure qu'elle n'existe pas ! ■

Propos recueillis par Philippe RIBEAU-GESIPPE

La cité oubliée de Jinsha

Mayke Wagner et Pavel Tarasov

La découverte fortuite au Sichuan, en Chine, d'une ancienne cité atteste de l'existence d'une riche culture qui révérait l'éléphant, il y a plus de deux mille ans.

Les érudits chinois de l'Antiquité écrivaient beaucoup. Ils écrivaient tellement qu'il semble qu'à partir du III^e siècle avant notre ère, aucune question historique chinoise ne soit restée sans réponse. Aucune ? Pas vraiment. Les chroniqueurs des trois premières dynasties chinoises – les dynasties Xia (2100-1600 avant notre ère), Shang (1600-1046) et Zhou (1046-771) – passaient sous silence les cultures voisines, qu'ils tenaient pour négligeables. L'étaient-elles ? Manifestement pas, puisque l'on a découvert au Sichuan la cité de Jinsha, où florissait une culture riche et complexe au début du I^{er} millénaire avant notre ère. Les anciens Chinois pouvaient-ils vraiment ignorer son existence ?

Leur ignorance apparente est d'autant plus étonnante que les chroniqueurs chinois ont écrit sur tout ce qui a précédé l'Empire du Milieu jusqu'au XXI^e siècle avant notre ère. Or dès la première grande fouille chinoise en 1928, ces sources se sont révélées fiables : c'est en se fondant sur leurs écrits que l'on a découvert Yin Xu (littéralement les « ruines des Yin »), la capitale de la dynastie Shang, que l'on nomme aussi la dynastie Yin. À partir du XVI^e siècle avant notre ère, les rois Yin (ou Shang) ont régné depuis cette ancienne ville sur une grande partie de la plaine chinoise orientale. La frontière sud de leur royaume était la rive du cours moyen du Changjiang, aussi appelé le Yangtsé.

L'ESSENTIEL

- Les cultures voisines de la Chine antique ne sont jamais mentionnées par les chroniqueurs chinois. De ce fait, les archéologues les ont cru négligeables...
- ... jusqu'à ce qu'ils découvrent leur complexité, comme par exemple sur le site de Jinsha, au Sichuan.
- Dans cette cité fondée à la fin du II^e millénaire avant notre ère s'était développée une culture riche et singulière.
- Jinsha était peut-être la capitale d'un royaume disparu, jamais mentionné mais connu des anciens Chinois.

© Huang Zheng / Shutterstock.com

CE DISQUE SOLAIRE mis au jour à Jinsha est devenu le symbole de sa culture.