

de construction planétaire glacé vers la région occupée aujourd'hui par la Terre, l'ensemencement en eau et autres éléments volatils. Ce processus aurait alors privé l'embryon planétaire voisin, la future Mars, de matériau pour poursuivre sa croissance.

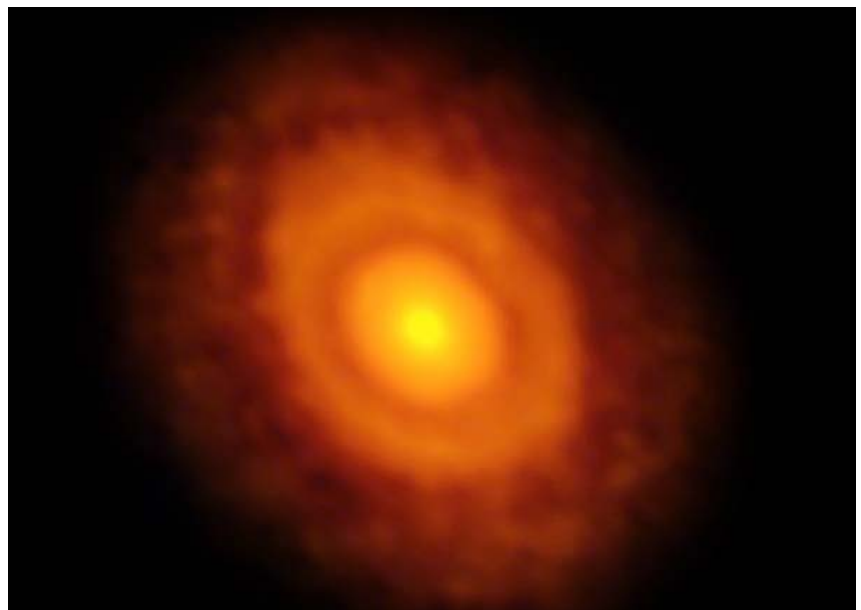
Par ailleurs, des planétésimaux se sont accumulés dans la ceinture principale d'astéroïdes du fait de résonances gravitationnelles avec Jupiter. D'après le modèle, les corps rocheux étaient déjà présents dans cette région tandis que les astéroïdes riches en glace se sont formés au-delà de l'orbite actuelle de Jupiter et se sont implantés dans la ceinture lors de la migration de la planète gazeuse vers l'extérieur.

Le scénario du grand tack semble convaincant. Pourtant, nous ne parvenons pas à faire le lien avec l'autre grand mystère restant du Système solaire, à savoir l'absence totale de planètes en deçà de l'orbite de Mercure. Au regard des autres systèmes, qui ont des superterres sur des orbites serrées, le nôtre donnerait presque l'impression d'avoir été évié. Pourquoi ? Il semble étrange que le Système solaire n'ait pas connu le mode de formation planétaire le plus couramment observé ailleurs dans le cosmos.

En 2015, deux d'entre nous (Konstantin Batygin et Gregory Laughlin) ont étudié quelles seraient les conséquences du grand tack sur un hypothétique cortège de superterres en orbite tout près du Soleil. Notre conclusion est qu'elles n'auraient pas survécu.

En effet, avec son effet chasse-neige alors qu'elle dérivait vers la partie interne du Système solaire, Jupiter aurait perturbé les orbites circulaires et ordonnées des planétésimaux rencontrés en chemin. Elle les aurait expédiés, telle une nuée désordonnée, sur des trajectoires entrecroisées. Certains des planétésimaux seraient entrés violemment en collision et auraient ainsi produit de nombreux débris, entraînant une cascade de nouvelles collisions et fragmentations. La migration de Jupiter vers l'intérieur a vraisemblablement érodé la population de planétésimaux, les réduisant essentiellement à l'état de rochers, cailloux et sable.

Sous l'effet du broyage collisionnel et des frottements avec le gaz du disque protoplanétaire interne, les planétésimaux qui s'érodaient et se fragmentaient ont freiné et se sont donc rapprochés en spirale du Soleil. En tombant, ils auraient été facilement capturés dans des résonances gravitationnelles, s'accumulant dangereusement près



© ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/L. Cieza

LE DISQUE PROTOPLANÉTAIRE de l'étoile V883 Orionis, observé par le radiotélescope ALMA, met en évidence, pour la première fois, la ligne de glace (l'anneau sombre le plus proche du centre) qui sépare la région interne, pauvre en eau, de celle à l'extérieur, où les conditions de température et de pression permettent la formation de glace d'eau.

des trajectoires d'éventuelles superterres primordiales en orbite proche du Soleil.

Cela aurait été une mauvaise nouvelle pour ces planètes, qui auraient été brutalement assaillies par des essaims parasites de débris et auraient perdu progressivement de l'énergie. L'effet net est que les planètes auraient ralenti et changé d'orbite pour amorcer des spirales de chute dans le Soleil. Nos simulations suggèrent qu'aucune de ces planètes hypothétiques n'aurait survécu plus de quelques centaines de milliers d'années après le début de la cascade de collisions.

Une « grande attaque » de Jupiter

Ainsi, il est possible que le grand tack de Jupiter et Saturne ait lancé une véritable « grande attaque » sur une population de planètes primordiales proches du Soleil. Et en disparaissant dans l'étoile, ces anciennes superterres auraient laissé derrière elles une région vide dans la nébuleuse solaire, dans la zone qui s'étend à peu près jusqu'à l'orbite actuelle de Mercure. Par conséquent, l'incursion de Jupiter dans le Système solaire primordial aurait produit un anneau relativement étroit de débris rocheux, à partir duquel les quatre planètes telluriques se sont formées quelques centaines de millions d'années plus tard. L'enchaînement des événements aléatoires nécessaire pour produire une chorégraphie aussi subtile suggère que les petites planètes rocheuses de type tellurique (et peut-être la vie elle-même) seraient assez rares dans le cosmos.

■ BIBLIOGRAPHIE

K. Batygin et M. Brown, *Evidence for a distant giant planet in the solar system*, *Astronomical Journal*, vol. 151, n° 2, 2016.

M. Lemonick, *La longue traque de la planète X*, *Pour la Science*, n° 461, mars 2016.

K. Batygin et G. Laughlin, *Jupiter's decisive role in the inner Solar System's early evolution*, *PNAS*, vol. 112[14], pp. 4214-4217, 2015.

A. Morbidelli, *Dynamical evolution of planetary systems*, dans T. D. Oswalt et al. (éd.), *Planets, Stars and Stellar Systems*, vol. 3, pp. 63-109, Springer, 2013.

K. J. Walsh et al., *A low mass for Mars from Jupiter's early gas-driven migration*, *Nature*, vol. 475, pp. 206-209, 2011.