

ayant une masse de l'ordre de 10 000 fois celle du Soleil. Une zone dense au sein du nuage s'est effondrée sur elle-même, formant au centre une protoétoile – le jeune Soleil –, entourée d'un immense anneau de gaz et de poussière opaque, le disque protoplanétaire.

Pendant des décennies, les théoriciens ont pensé que les propriétés du disque protoplanétaire suffisaient pour expliquer l'une des principales caractéristiques du Système solaire : la répartition de son cortège, d'abord les quatre planètes telluriques rocheuses, puis, sur des orbites plus lointaines, les quatre géantes gazeuses.

Un processus universel explique la formation de ces deux variétés de planètes. Dans le disque gazeux et turbulent, des grains de poussière entrent en collision et se collent les uns aux autres jusqu'à former des objets de taille kilométrique nommés planétésimaux. Ceux-ci s'apparentent aux moutons de poussière formés par les courants d'air et les forces électrostatiques sur un sol non balayé. En un million d'années environ, le disque protoplanétaire du Système solaire regorgeait de planètes embryonnaires de la taille de la Lune.

La plupart de ces corps se trouvaient au-delà de l'actuelle ceinture d'astéroïdes, et au-delà de la « ligne de glace », qui indique la région suffisamment éloignée de la chaleur du jeune Soleil pour qu'il subsiste de la glace d'eau dans le disque. Par conséquent, au-delà de la ligne de démarcation, les planètes embryonnaires pouvaient se repaître de glace en abondance et ainsi atteindre des tailles énormes. Par ailleurs, les plus gros de ces corps étaient aussi ceux qui grossissaient le plus vite. Leur champ gravitationnel, plus intense, accumulait la plus grande part de la glace, du gaz et de la poussière disponibles dans le disque environnant. En un million d'années seulement, l'embryon le plus goulé était devenu la planète Jupiter.

Pour les planétologues, la dichotomie de l'architecture du Système solaire s'est jouée à cette période. Devancées par Jupiter, les autres planètes géantes sont plus petites parce que leur croissance a été plus lente, la quantité de gaz disponible ayant déjà été très réduite par Jupiter au moment où leur attraction gravitationnelle a pris vraiment de l'importance. Les planètes internes étaient encore beaucoup plus petites parce que nées à l'intérieur de la ligne de glace, là où le disque était relativement appauvri en matière solide.

■ LES AUTEURS



Konstantin BATYGIN est maître de conférences en planétologie à l'institut de technologie de Californie, aux États-Unis.



Gregory LAUGHLIN est professeur d'astronomie et d'astrophysique à l'université de Californie à Santa Cruz, aux États-Unis.



Alessandro MORBIDELLI est planétologue à l'Observatoire de la Côte d'Azur, à Nice, et membre des académies des sciences française et belge.

En dehors de quelques détails gênants, comme les masses trop petites de Mars et de Mercure par rapport aux résultats des simulations, ce scénario de « Jupiter en premier » semblait expliquer de façon satisfaisante la structure du Système solaire. Le mécanisme semblait assez universel pour qu'on s'attende à retrouver des organisations similaires autour d'autres étoiles : des planètes géantes sur des orbites de longue période au-delà de la ligne de glace, et des planètes rocheuses en deçà, avec des périodes orbitales de l'ordre de quelques années ou moins. Or les observations ont contredit ces pronostics.

La révolution des exoplanètes

Quand les astronomes ont commencé à découvrir des exoplanètes, il y a plus de vingt ans, ils ont pu mettre à l'épreuve ce qu'ils savaient de la formation du Système solaire. Beaucoup des premières exoplanètes connues étaient des « jupiters chauds », des planètes gazeuses géantes tournant à toute allure près de leur étoile, avec des périodes de révolution de quelques jours seulement. L'existence de planètes géantes si proches de leur étoile, où la chaleur est si forte que la glace est totalement absente, est en contradiction avec le scénario classique de formation planétaire. Pour expliquer ce désaccord, les théoriciens ont conclu que ces planètes s'étaient formées plus à l'extérieur du disque, avant de migrer vers ses régions internes.

Il reste cependant que, avec les milliers d'exoplanètes trouvées par des relevés tels que la mission *Kepler* de la Nasa, le Système solaire apparaît comme une exception dans l'Univers. Le système planétaire moyen contient une ou plusieurs super-terres (des planètes environ deux à dix fois plus grandes que la Terre) avec des périodes orbitales inférieures à une centaine de jours. En revanche, on ne trouve de planètes géantes (des analogues de Jupiter et Saturne) que dans 10 % environ des systèmes extrasolaires, et, parmi elles, celles décrivant des orbites presque circulaires sont encore plus rares.

Leurs attentes ayant été déçues, les planétologues ont compris que les « quelques détails gênants » de la théorie classique de formation du Système solaire exigeaient de meilleures explications. Pourquoi la région interne du Système solaire est-elle si pauvre

Les planétologues pensaient que le Système solaire, avec ses planètes rocheuses internes et ses géantes gazeuses externes, était d'un type banal. Or cette organisation est, en fait, plutôt une anomalie. Les « superterres », d'une masse comprise entre celle de la Terre et de Neptune, sont les planètes les plus courantes dans la Galaxie, mais il n'en existe aucune autour du Soleil. Et la plupart des étoiles sont dotées de planètes bien plus rapprochées qu' Mercure ne l'est du Soleil. Des interactions planétaires complexes lors de la jeunesse du Système solaire expliqueraient la structure de ce dernier.

