

Quand Jupiter et Saturne ont fini par se frayer le chemin du retour après leur incursion dans le système interne, le disque environnant de gaz et de poussière était sur le déclin. La paire résonante Jupiter-Saturne a fini par rencontrer Uranus et Neptune récemment formées, ainsi peut-être qu'un autre corps de taille similaire. Les interactions avec le gaz aidant, le duo dynamique a enfermé ces géantes plus modestes dans des résonances orbitales.

Ainsi, juste au moment où l'essentiel du gaz du disque disparaissait, la région interne du Système solaire ne comportait probablement qu'un anneau de débris rocheux au voisinage de l'orbite actuelle de la Terre.

Dans la région externe, un groupe compact et résonant d'au moins quatre planètes géantes occupait des orbites presque circulaires, la plus proche se situant à peu près au niveau de l'orbite actuelle de Jupiter et la plus lointaine environ à mi-chemin de l'actuelle orbite de Neptune. Au-delà de l'orbite la plus externe, les planétésimaux glacés du disque externe s'étendaient jusqu'aux confins du Système solaire.

Puis, en plusieurs centaines de millions d'années, les planètes telluriques se sont formées, et les planètes externes jadis agitées se sont assagies, trouvant une stabilité que l'on aurait pu croire définitive. Mais le hasard en a voulu autrement : ce n'était pas encore la phase finale de l'évolution du Système solaire.

Le grand tack et la grande attaque contemporaine ont préparé le terrain à un dernier sursaut de violence interplanétaire dans l'histoire ancienne du Système solaire, une touche finale qui place le cortège planétaire dans une configuration très proche de celle d'aujourd'hui, des milliards d'années plus tard. Ce dernier sursaut est connu sous le nom de grand bombardement tardif. Durant cette période (il y a entre 4,1 et 3,8 milliards d'années), le Système solaire s'est momentanément transformé en stand de tir, théâtre d'un mitraillage permanent par des planétésimaux. Nous en voyons encore aujourd'hui les cicatrices avec les énormes cratères qui criblent la surface de la Lune.

En collaboration avec plusieurs collègues de l'observatoire de la Côte d'Azur à Nice, en 2005, l'un d'entre nous (Alessandro Morbidelli) a conçu le modèle dit de Nice pour expliquer comment les interactions des planètes géantes ont pu produire le grand bombardement tardif. Là où le grand tack prend fin, le modèle de Nice prend la relève.

À la fin du grand tack, les planètes géantes étaient en résonance les unes avec les autres sur des orbites proches et ressentaient aussi les tiraillements gravitationnels des planétésimaux glacés au-delà de leurs orbites. Malgré les résonances, elles étaient en fait en équilibre précaire, au bord de l'instabilité. En cumulant leurs effets sur des millions d'orbites et des centaines de millions d'années, les tiraillements insignifiants des planétésimaux externes ont peu à peu décalé le mouvement des géantes, grignotant lentement le délicat équilibre des résonances qui les liaient. Le point de

Le grand tack de Jupiter et Saturne aurait déclenché la grande attaque, à laquelle d'éventuelles superterres n'auraient pas survécu

basculer correspond au moment où l'une des géantes est sortie de la configuration de résonance avec une autre, détricotant l'équilibre et déclenchant une série chaotique de perturbations qui a légèrement poussé Jupiter vers l'intérieur tout en éparpillant les autres plus à l'extérieur.

Dans un bref intervalle cosmique de quelques millions d'années, le Système solaire externe a ainsi subi une inconfortable transition, passant d'un état ramassé et quasi circulaire à une vaste configuration désordonnée, caractérisée par des planètes qui suivent d'immenses orbites de forte excentricité. Les interactions des planètes géantes étaient si violentes qu'une ou plusieurs d'entre elles ont pu être dispersées, éjectées vers l'espace interstellaire.

Si l'évolution dynamique s'était arrêtée là, l'architecture du Système solaire externe aurait bien reproduit les tendances observées avec les exoplanètes géantes, dont beaucoup décrivent des orbites excentriques autour de leur étoile. Mais le disque de planétésimaux glacés qui était à l'origine du désordre a aussi contribué à le supprimer par ses interactions ultérieures avec les orbites excentriques des planètes géantes. Un à un, la plupart des planétésimaux en orbite proche ont été éjectés par Jupiter et les autres planètes géantes, ce qui a progressivement ponctionné de l'énergie orbitale des planètes et rendu à nouveau circulaires leurs orbites. Une partie des planétésimaux

ont donné lieu au grand bombardement tardif, d'autres ont été éjectés au-delà de la portée gravitationnelle du Soleil et une petite fraction d'entre eux se sont maintenus sur des orbites liées, formant l'anneau de débris glacés situé aujourd'hui au-delà de l'orbite de Neptune, la ceinture de Kuiper.

Des travaux d'observation patients nous révèlent petit à petit la structure complète de la ceinture de Kuiper, et des caractéristiques inattendues se dévoilent peu à peu. En particulier, les astronomes ont repéré un motif particulier parmi les objets les plus lointains de la ceinture de Kuiper. Malgré des distances au Soleil variées, les orbites de ces objets sont regroupées dans une certaine région, comme s'ils étaient tous soumis à une même perturbation de grande ampleur.

Des simulations numériques effectuées par Konstantin Batygin et Michael Brown, de l'Institut de technologie de Californie, ont montré que cette situation se produit naturellement s'il existe une neuvième planète, une dizaine de fois plus massive que la Terre et évoluant sur une orbite très excentrique autour du Soleil, avec une période d'environ 20 000 ans. Une telle planète a peu de chances de s'être formée si loin, mais on peut en rendre compte si l'on suppose qu'il s'agit d'une exilée, éjectée d'une orbite plus rapprochée dans l'enfance du Système solaire (voir l'encadré pages 25-27).

À la recherche de la neuvième planète

Si l'existence de cette planète autour du Soleil était confirmée, cela resserrerait fortement les contraintes de notre vision du Système solaire. En ce moment même, les astronomes se préparent à mettre à contribution certains des plus grands télescopes afin de rechercher activement cette hypothétique planète.

L'histoire du Système solaire qui s'esquisse ainsi, avec les restructurations parfois brutales du grand tack, de la grande attaque et du modèle de Nice, et l'existence soupçonnée d'une planète supplémentaire, promet de devenir l'une des plus belles réussites de la science moderne, et sans contester l'une des plus belles histoires qui puissent jamais être contées. ■