

Différents phénomènes
gravitationnels ont conduit
les planètes à entreprendre
d'épiques
traversées
du disque
protoplanétaire

en masse, comparée à ses homologues exoplanétaires, avec des planètes rocheuses maigrichonnes au lieu de superterres et sans aucune planète plus proche du Soleil que Mercure ? Et pourquoi les orbites des planètes géantes du Soleil sont-elles si paisibles et éloignées ?

Les différents indices révélés par l'étude des exoplanètes nous ont fait comprendre que l'orbite des planètes pouvait changer drastiquement au cours du temps. Ainsi, une planète en formation pourrait dériver loin de son point d'origine, un peu comme un radeau de survie sur l'océan.

Les astronomes ont d'abord cherché quel serait le mécanisme de migration. Dès qu'une planète est devenue assez grosse, son influence gravitationnelle s'étend au disque environnant, et engendre des ondes de densité spirales. Celles-ci exercent, à leur tour, des forces gravitationnelles. Cette dynamique crée d'importantes rétroactions entre les planètes et le disque : en interagissant avec ces ondes, les jeunes grosses planètes sont freinées sur leur orbite, ce qui les conduit à se rapprocher de leur étoile.

Quand ce processus de migration planétaire est intégré au modèle, la ligne de glace au sein des disques ne joue plus un rôle prépondérant dans le façonnage et l'architecture des systèmes planétaires. Par exemple, des planètes géantes nées au-delà de la ligne de glace peuvent devenir des jupiters chauds en dérivant vers l'intérieur. Le problème est que ce processus fonctionne presque trop bien : il semble avoir eu lieu dans de très nombreux disques protoplanétaires. Comment, dans ces conditions, expliquer les orbites décrites par Jupiter et Saturne, si éloignées du Soleil ?

En 2001, à l'université Queen Mary de Londres, Frédéric Masset et Mark Snellgrove ont donné la première ébauche d'une explication convaincante. Les deux chercheurs ont modélisé l'évolution simultanée des orbites de Saturne et de Jupiter dans le disque protoplanétaire du Soleil. En raison de la masse inférieure de Saturne, le rythme de migration de cette planète vers l'intérieur est plus rapide que celui de Jupiter, et à

mesure que leur migration progresse, les deux planètes se rapprochent. Finalement, les orbites atteignent une configuration particulière, nommée résonance orbitale, dans laquelle Jupiter effectue trois révolutions autour du Soleil quand Saturne en fait deux dans le même temps.

Deux planètes liées par une résonance orbitale échangent de l'énergie mécanique, ce qui stabilise leurs orbites. L'influence gravitationnelle commune des deux planètes est amplifiée et s'exerce essentiellement l'une sur l'autre et sur leur environnement. Dans le cas de Jupiter et de Saturne, l'influence des deux corps a creusé une grande lacune – c'est-à-dire une région vide de matière – dans le disque protoplanétaire, Jupiter étant sur le bord interne de la lacune et Saturne sur son bord externe. La formation de la lacune conduit à un déséquilibre des rétroactions du disque sur ces deux planètes. Et comme Jupiter exerce une attraction gravitationnelle plus importante sur le disque interne que ne le fait Saturne sur le disque externe, les planétologues ont montré que les deux planètes ont rebroussé chemin et ont commencé à s'éloigner du Soleil. Ce mouvement vers l'intérieur puis vers l'extérieur est souvent nommé le grand tack (ou grand virement de bord), par analogie avec la trajectoire d'un voilier qui tire des bords pour remonter au vent.

Jupiter, le régime minceur de Mars

En 2011, une décennie après l'introduction du concept de grand tack, Kevin Walsh, alors à l'observatoire de la Côte-d'Azur, à Nice, et ses collègues ont montré grâce à des simulations numériques que ce modèle explique non seulement l'histoire dynamique de Jupiter et de Saturne, mais aussi la composition de la ceinture principale d'astéroïdes (qui contient des planétésimaux rocheux et glacés) ainsi que la faible masse de Mars.

Comment ? Quand Jupiter a migré vers l'intérieur, la planète s'est comportée comme un chasse-neige. Par son influence gravitationnelle, elle a capturé et poussé des planétésimaux devant elle sur sa trajectoire. On suppose que dans sa migration, Jupiter s'est approchée du Soleil jusqu'à l'orbite actuelle de Mars (1,5 fois la distance Soleil-Terre actuelle) avant de faire demi-tour. Elle aurait alors pu repousser l'équivalent de plusieurs masses terrestres de matériau