

Dans la représentation classique du Système solaire, chaque planète se déplace autour du Soleil sur une orbite bien définie, à une distance respectueuse de ses voisines. Ce manège céleste est immuable depuis que des astronomes enregistrent les mouvements planétaires, et les modèles mathématiques montrent que cette configuration orbitale stable est restée inchangée pendant la majeure partie des quatre milliards et demi d'années du Système solaire. On est tenté de supposer que les planètes sont nées sur leurs orbites actuelles.

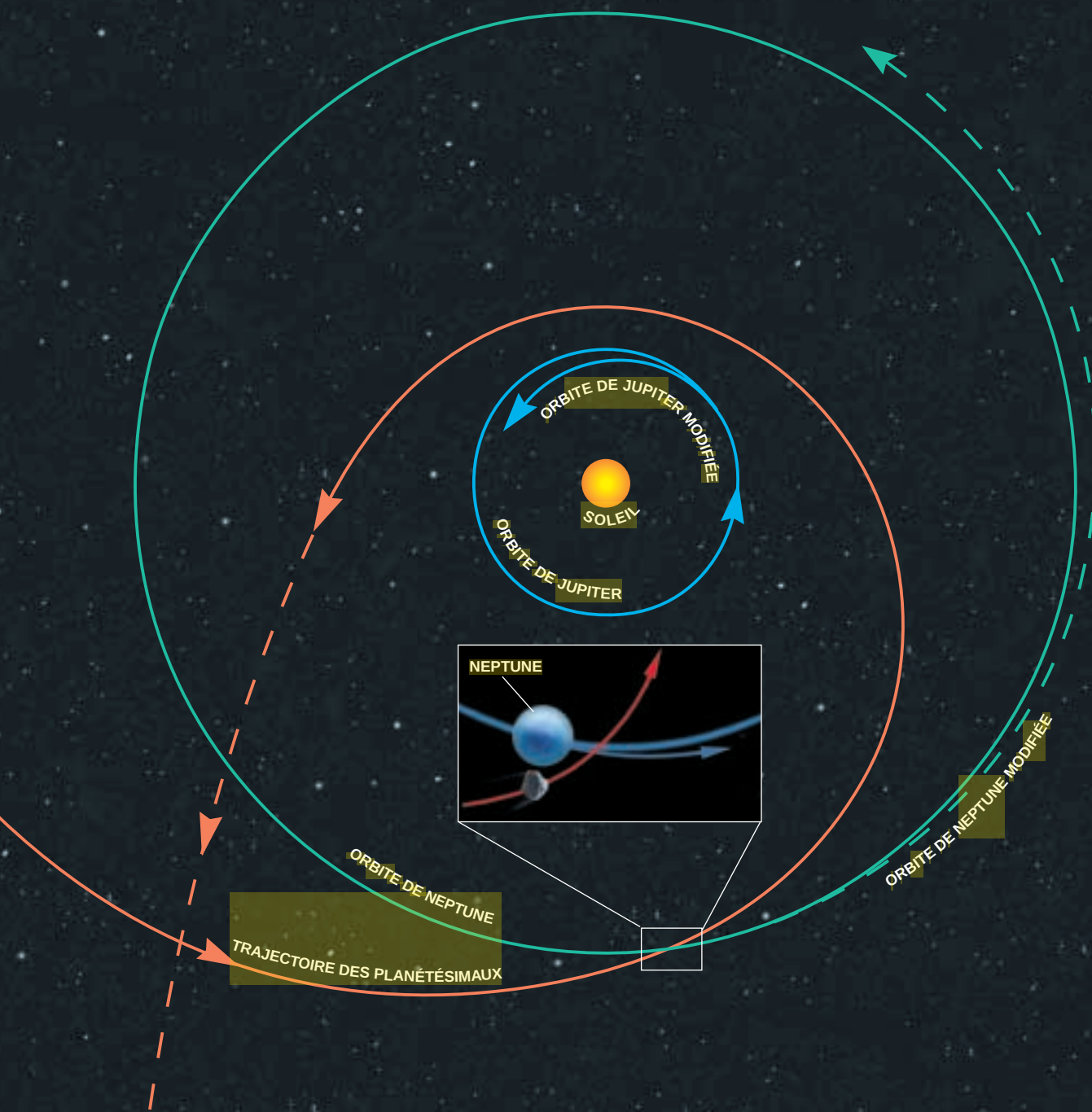
Plus précisément, les astronomes des dernières décennies ont souvent admis que la position des orbites planétaires correspondait à leur lieu de naissance dans la nébuleuse solaire,

le disque de gaz et de poussières à partir duquel s'est formé le Système solaire. Partant de cette hypothèse, on a utilisé les rayons orbitaux des planètes pour estimer la répartition de masse à l'intérieur de la nébuleuse solaire, pour étudier la formation du Système solaire et pour estimer les durées de formation des planètes.

Toutefois, les astronomes admettent aussi que de nombreux corps mineurs du Système solaire, tels les astéroïdes, les comètes ou les satellites des planètes, ont changé d'orbite au cours des derniers quatre milliards et demi d'années. Parfois, ces changements sont considérables : la chute de la comète Shoemaker-Levy 9 sur Jupiter, en 1994, montra que le Système solaire n'est pas figé. D'autres

événements passent inaperçus : des objets plus petits, telles les poussières d'une taille de l'ordre du micromètre ou du millimètre, échappées des comètes et des astéroïdes, ont une trajectoire qui les font tomber en spirale sur le Soleil, arrosant d'une pluie de micrométéorites les planètes qui sont sur leur passage.

Dans le passé, l'orbite de nombreux satellites a considérablement varié. Par exemple, on pense que la Lune, qui gravite aujourd'hui à 384 000 kilomètres de la Terre, s'est formée à moins de 30 000 kilomètres. Au cours du dernier milliard d'années, la Lune s'est éloignée de près de 100 000 kilomètres, en raison de la dissipation des forces de marées exercées par le satellite sur notre planète (sous



l'effet des frottements dus aux marées, la Terre ralentit sa rotation, ce qui, en raison de la conservation de l'énergie, provoque l'éloignement de la Lune). De nombreux satellites des planètes extérieures ont également des mouvements synchronisés qui résultent des forces de marées : la période orbitale de Ganymède, le plus gros des satellites de Jupiter, est égale à deux fois celle d'Europe, qui, elle-même, est deux fois supérieure à celle de Io. Cette synchronisation découle vraisemblablement d'une évolution progressive des orbites de ces satellites, due aux forces de marées.

Et les planètes elles-mêmes ? Récemment encore, peu d'éléments laissaient croire que leur configuration orbitale avait changé depuis leur formation, mais les observations effectuées depuis cinq ans montrent que nous devons réviser nos théories. Tout d'abord, la découverte de la ceinture de Kuiper a montré que notre Système solaire s'étend bien au-delà de Pluton : environ 100 000 «planètes mineures» composées de glace (avec des diamètres compris entre 100 et 1 000 kilomètres) et un nombre encore supérieur de petits corps célestes occupent une région qui s'étend de l'orbite de Neptune (à environ 4,5 milliards de kilomètres du Soleil) jusqu'à au moins deux fois cette distance du Soleil. Ces objets sont répartis avec des caractéristiques que n'expliquent pas les théories actuelles. Les modèles théoriques qui décrivent cette répartition indiquent que la ceinture de Kuiper renferme des traces de l'histoire des planètes gazeuses géantes et, plus spécifiquement, des preuves d'un étalement progressif des orbites de ces planètes après leur formation.

De surcroît, la découverte de plusieurs planètes de la taille de Jupiter, en orbite très proche autour d'étoiles de type solaire, a fait penser que les planètes ne sont pas sur des orbites fixes. On comprend mal comment ces planètes se sont formées si près de leur étoile mère : se seraient-elles formées à des distances supérieures avant de migrer jusqu'à leurs positions actuelles ?

Pluton : exclu ou témoin ?

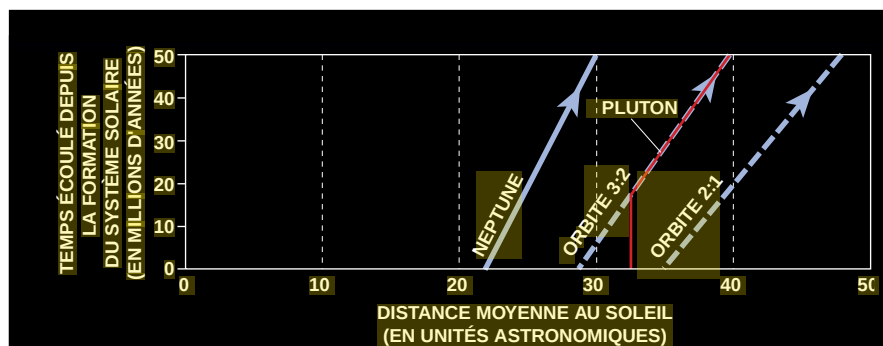
Jusqu'à ces dernières années, les seuls objets planétaires connus au-delà de Neptune étaient Pluton et son satellite, Charon. D'ailleurs, pour les théories dominantes de l'origine du Système

solaire, Pluton est une incohérence : cet objet, plusieurs milliers de fois moins massif que les quatre planètes gazeuses géantes, a une orbite très allongée et penchée sur l'écliptique (le plan de l'orbite terrestre), alors que les huit autres planètes principales ont des orbites presque circulaires et coplanaires.

Pluton a une orbite très excentrique : au cours d'une révolution, sa distance au Soleil varie entre 30 et 50 unités astronomiques (l'unité astronomique est la distance moyenne de la Terre au Soleil, soit 150 millions de kilomètres). Elle est au maximum à 8 unités astronomiques au-dessus de

l'écliptique et à 13 unités astronomiques en dessous. Pendant approximativement 20 des 248 années que compte sa période orbitale, Pluton est plus proche du Soleil que Neptune.

Dans les décennies qui ont suivi la découverte de Pluton, en 1930, des observations ont rendu cette planète plus mystérieuse encore : les astronomes ont découvert que la plupart des orbites qui croisent celle de Neptune sont instables. Un objet sur une telle orbite entre en collision avec Neptune ou est éjecté du Système solaire en un temps relativement court (moins de un pour cent de l'âge du Système solaire).



2. LA MIGRATION PLANÉTAIRE est illustrée par ces deux représentations du Système solaire, la première au moment de la formation des planètes (*en haut, à droite*), la seconde aujourd'hui (*en bas à droite*). On pense que l'orbite de Jupiter a légèrement rétréci, tandis que les orbites de Saturne, d'Uranus et de Neptune se sont agrandies (ces migrations n'ont pas eu de conséquences importantes sur la région planétaire centrale). Selon la théorie des migrations, Pluton était initialement sur une orbite circulaire. Lors de sa migration vers l'extérieur, Neptune a entraîné Pluton sur une orbite dont la période est exactement égale une fois et demie à celle de Neptune (*ci-dessus*). La gravité de Neptune a ainsi amené Pluton sur une orbite plus allongée, inclinée par rapport au plan orbital des autres planètes.