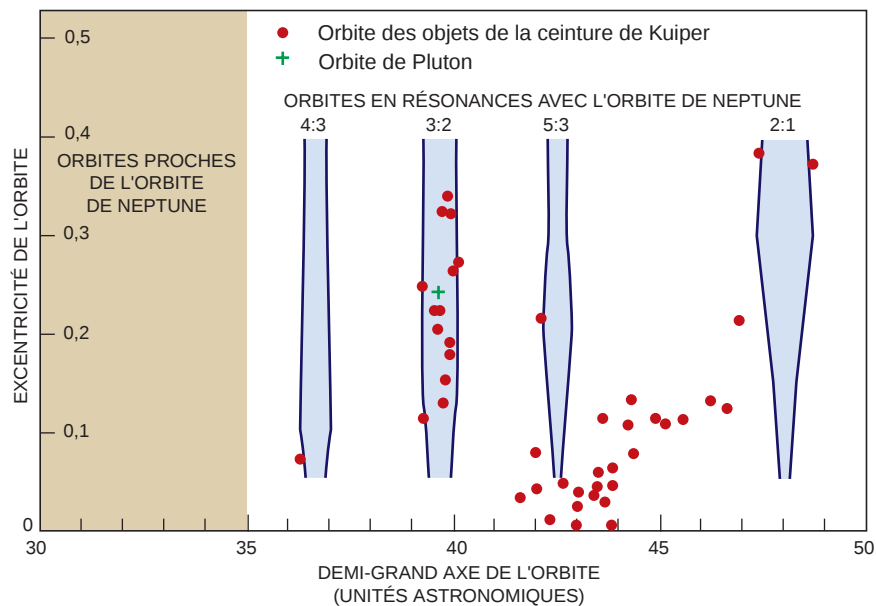
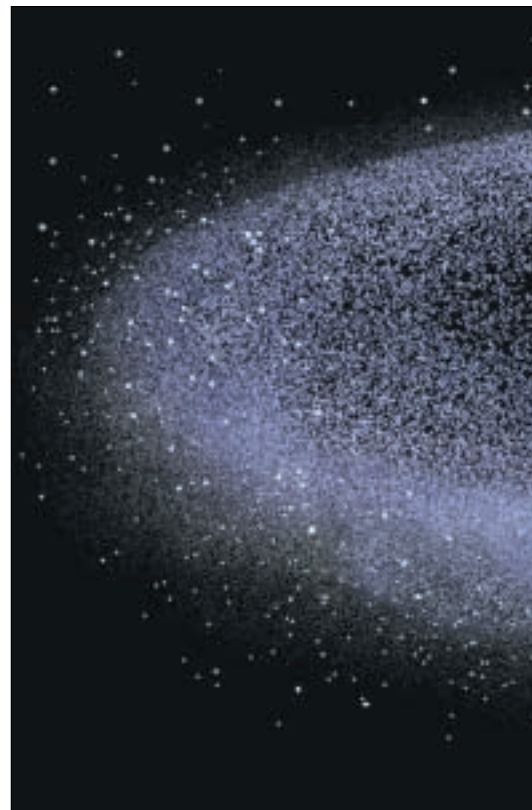




3. LA CEINTURE DE KUIPER est une région en forme de tore, au-delà de l'orbite de Neptune, peuplée de très nombreux petits corps célestes (à droite). La théorie de la migration planétaire prédit des concentrations supérieures de ces objets sur les orbites en résonance avec celle de Neptune, c'est-à-dire celles dont la période est dans un rapport rationnel simple avec la période de Neptune (régions bleutées sur le diagramme ci-dessus). Les dernières observations montrent qu'un tiers des objets de la ceinture de Kuiper dont on connaît les orbites (points rouges) sont sur des orbites résonantes 3:2, du type de celle de Pluton (croix verte). On prévoit de trouver peu d'objets sur des orbites proches de celle de Neptune (zone marron).



déplacée sur son orbite actuelle. Cette théorie abandonne l'hypothèse selon laquelle les géantes gazeuses se seraient formées à la distance du Soleil où elles se trouvent aujourd'hui. Elle introduit également le concept d'une période de migration planétaire, au tout début de l'histoire du Système solaire, dont l'orbite singulière de Pluton serait la trace.

Tout commence lorsque les planètes sont presque constituées par accréation de «planétésimaux» (de petits corps composés de roches et de glaces, dont le rayon ne dépasse pas quelques dizaines de kilomètres pour la plupart). Autour des planètes géantes gazeuses quasi formées (Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune) demeure une population de ces petits corps. Par la suite, l'évolution du Système solaire ralentit, se limitant à la diffusion de ces planétésimaux ou à leur accréation sur les planètes principales (voir la figure 1). Comme la diffusion gravitationnelle éjecte la majeure partie de ces planétésimaux vers des orbites distantes ou non liées, les planètes perdent de l'énergie orbitale et du moment cinétique. Toutefois, en raison de leurs masses et de leurs distances au Soleil différentes, les quatre planètes géantes sont inégalement perturbées.

Considérons l'évolution orbitale de la planète géante la plus lointaine, Neptune, tandis qu'elle disperse la nuée de planétésimaux avoisinante. Initialement, l'énergie orbitale spécifique moyenne des planétésimaux (c'est-à-dire l'énergie orbitale par unité de masse) est égale à celle de Neptune, de sorte que les interactions gravitationnelles avec Neptune sont neutres : elles n'apportent pas d'énergie à Neptune et ne lui en prennent pas non plus. Après quelque millions d'années, le nuage de planétésimaux dans les parages de Neptune perd ses objets dont les énergies orbitales sont les plus faibles, car ils sont attirés par le champ gravitationnel des autres planètes géantes. La plupart de ces planétésimaux sont finalement éjectés hors du Système solaire par Jupiter, le poids lourd des planètes.

Ainsi, progressivement, l'énergie orbitale spécifique des planétésimaux rencontrés par Neptune devient supérieure à celle de Neptune. En raison des interactions gravitationnelles, l'énergie orbitale de Neptune augmente, et la planète s'éloigne du Soleil. Saturne et Uranus gagnent également de l'énergie orbitale et partent en spirale vers la périphérie, tandis que, en raison de la conservation de l'énergie totale du système, Jupiter perd de

l'énergie orbitale. Toutefois, Jupiter est si massif que son orbite change peu.

Dès 1984, à l'Institut Max Planck, Julio Fernandez et Wing-Huen Ip avaient déjà supposé de tels ajustements des orbites des planètes géantes. Faute d'observations et d'hypothèses directement testables, leurs travaux restèrent une curiosité.

En 1993, j'ai montré qu'à mesure que l'orbite de Neptune dérivait, elle entraînait les orbites qui sont en résonance avec son orbite. Pluton aurait été entraîné jusqu'à son orbite actuelle à partir d'une orbite initiale quasi circulaire, de faible inclinaison, extérieure à celle de Neptune. La probabilité que de tels objets soient captés et déportés vers l'extérieur avec les orbites résonantes pendant la migration de Neptune est très élevée (de la même façon, on augmente l'amplitude d'une balançoire au moyen de petites poussées, appliquées à la fréquence naturelle de la balançoire). L'excentricité finale mesurerait ainsi l'importance de la migration de Neptune. Selon cette théorie, l'excentricité orbitale de Pluton (0,25) indique que Neptune aurait migré vers l'extérieur d'au moins cinq unités astronomiques. À l'aide de simulations numériques, on estime aujourd'hui qu'une migration de huit unités astronomiques et une durée de