

Source

"Origin of the cataclysmic Late Heavy Bombardment period of the terrestrial planets", Gomes, R., Levison, H.F., Tsiganis, K. and Morbidelli, A.; *Nature*, 435, 466-469, (2005)

"Origin of the orbital architecture of the giant planets of the Solar System", Tsiganis, K., Gomes, R., Morbidelli, A. and Levison, H.F.; *Nature*, 435, 459-461, (2005)

"Chaotic capture of Jupiter's Trojan asteroids in the early Solar System", Morbidelli, A., Levison, H.F., Tsiganis, K. and Gomes, R.; *Nature*, 435, 462-465, (2005)

L'équipe scientifique

Rodney Gomes (National Observatory of Brazil), Harold Levison (Southwest Research Institute, United States), Alessandro Morbidelli (Observatoire de la Côte d'Azur, France) and Kleomenis Tsiganis (OCA and University of Thessaloniki, Greece)

Les taches sombres lunaires témoignent d'un chamboulement des orbites planétaires bien après la formation du [système solaire](#)

Les peuples de toutes cultures ont toujours été fascinés par les taches sombres visibles sur la Lune, qui semblent dessiner un lapin, des grenouilles, ou la figure d'un clown. Avec les [missions Apollo](#), les scientifiques se sont aperçus que ces taches sont en fait d'énormes bassins d'impacts inondés par une lave qui s'est solidifiée. Les planétologues furent surpris de découvrir que ces bassins, les "mers lunaires", se sont formés relativement tard dans l'histoire du système solaire – approximativement 700 millions d'années après la formation de la Terre et de la Lune. Ces bassins témoignent d'une augmentation brutale et conséquente du taux de bombardement des planètes. Cette période est appelée le bombardement intense tardif ou "Late Heavy Bombardment" (LHB) en anglais. La cause de ce bombardement soudain et intense est restée l'un des mystères les mieux préservés de l'histoire de notre système solaire.

Lors de leur formation, les quatre planètes géantes, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune, étaient dans une configuration bien plus compacte que leur configuration actuelle. Au-delà de l'orbite de ces quatre planètes s'étendait un disque constitué de nombreux petits corps glacés ou rocheux dénommés «[planétésimaux](#)». A partir des observations astronomiques et d'hypothèses sur la formation du système solaire, les scientifiques élaborent des simulations numériques qu'ils font « tourner » jusqu'à obtenir une situation semblable à la configuration planétaire actuelle. Ces simulations numériques montrent alors que certains de ces planétésimaux ont été lentement éjectés du disque sous l'effet des perturbations gravitationnelles exercées par ces quatre planètes, parfois vers l'intérieur et parfois vers l'extérieur du système solaire.

Cependant, en appliquant les lois de Newton, chaque action provoque une réaction égale et opposée. Ainsi lorsqu'une planète projette un planétésimal en dehors du système solaire, la planète se déplace légèrement dans la direction opposée, vers le Soleil, en compensation. Si à l'inverse la planète envoie le planétésimal vers l'intérieur, alors elle va s'éloigner légèrement du Soleil.

Les simulations numériques indiquent qu'en moyenne Jupiter a dû se déplacer vers le Soleil tandis que les autres planètes géantes s'en sont éloignées. Initialement, ce processus était très lent car quelques millions d'années étaient nécessaires pour produire un petit déplacement des planètes. Cependant, selon ce nouveau modèle, après 700 millions d'années, la situation a subi un changement brutal.

Le système solaire

Le système solaire externe comprend l'ensemble des corps qui se trouvent au-delà de la ceinture d'astéroïde avec entre autres, les planètes géantes (Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune), Pluton et les objets de la ceinture de Kuiper. Le système solaire interne comprend les planètes "solides", les planètes telluriques (Mercure, Vénus, la Terre et Mars) ainsi que la ceinture d'astéroïdes.

Partir à la découverte de nouvelles planètes :

Voir: [«système solaire, systèmes stellaires», Thérèse Encrenaz, Dunod 2005](#)

Les planétésimaux

Les planétésimaux sont des objets de tailles variables, pouvant atteindre un diamètre égal à celui de Pluton. Ils se sont formés par l'agglomération des glaces et des poussières de la nébuleuse primitive. Ils se sont petit à petit condensés sur certaines orbites pour constituer les planètes telluriques, la plupart des satellites des planètes géantes et, peut être, le noyau (s'il existe) de ces géantes gazeuses.

À cette époque, Saturne a atteint une position telle que sa période orbitale correspondait exactement à deux fois celle de Jupiter. Cette configuration particulière a provoqué un allongement soudain des trajectoires de Jupiter et de Saturne. Les trajectoires d'Uranus et de Neptune sont devenues « folles ». Leurs orbites sont devenues elles aussi excentriques et ont commencé à se perturber violemment, ainsi que celle de Saturne.

Cette évolution des orbites d'Uranus et de Neptune pourrait être à l'origine du LHB sur la Lune. Les simulations informatiques montrent que ces planètes ont très rapidement pénétré le disque de planétésimaux, éparpillant ces petits objets dans l'ensemble du système solaire. Un grand nombre d'entre eux ont ainsi atteint le système solaire interne où ils sont venus "se frotter" à la Terre et à la Lune en les percutant. Ce processus a déstabilisé les orbites des astéroïdes situés entre Mars et Jupiter qui ont alors, aussi contribué au LHB. Enfin, les effets gravitationnels du disque de planétésimaux ont provoqué le déplacement d'Uranus et de Neptune sur leurs orbites actuelles.

Au cours de plusieurs douzaines de simulations de ce processus, sur l'ordinateur, les planètes ont régulièrement fini sur des orbites très similaires à celles observées aujourd'hui, avec des séparations, des excentricités et des inclinaisons correctes. Cependant, le système solaire contient actuellement une population d'astéroïdes qui évolue à la même distance du Soleil que Jupiter mais suit ou devance la planète selon un angle de 60 degrés avec le Soleil. Les premières simulations numériques indiquaient que ces corps, connus sous le nom d'astéroïdes Troyens, auraient dû être perdus lorsque les planètes géantes se sont déplacées. Cette observation "semblait rendre invalide le modèle", jusqu'à ce que les chercheurs réalisent que "si un oiseau peut s'échapper d'une cage ouverte, un autre peut y rentrer et y faire son nid !"

Ainsi, les chercheurs ont déterminé que ces objets qui ont dirigé les évolutions des planètes et provoqué le LHB ont pu aussi être capturés sur les orbites des astéroïdes Troyens. Dans leurs simulations, les Troyens ainsi piégés reproduisent la distribution observée, restée jusqu'alors inexplicée. De plus, la masse totale de ces objets est en accord avec celle de la population observée.

C'est la première fois, qu'un modèle explique simultanément les causes du LHB, les orbites des planètes géantes ainsi que la présence des astéroïdes Troyens.



Légende

Projection de l'orbite des planètes géantes et du disque de planétésimaux sur le plan orbital moyen initial

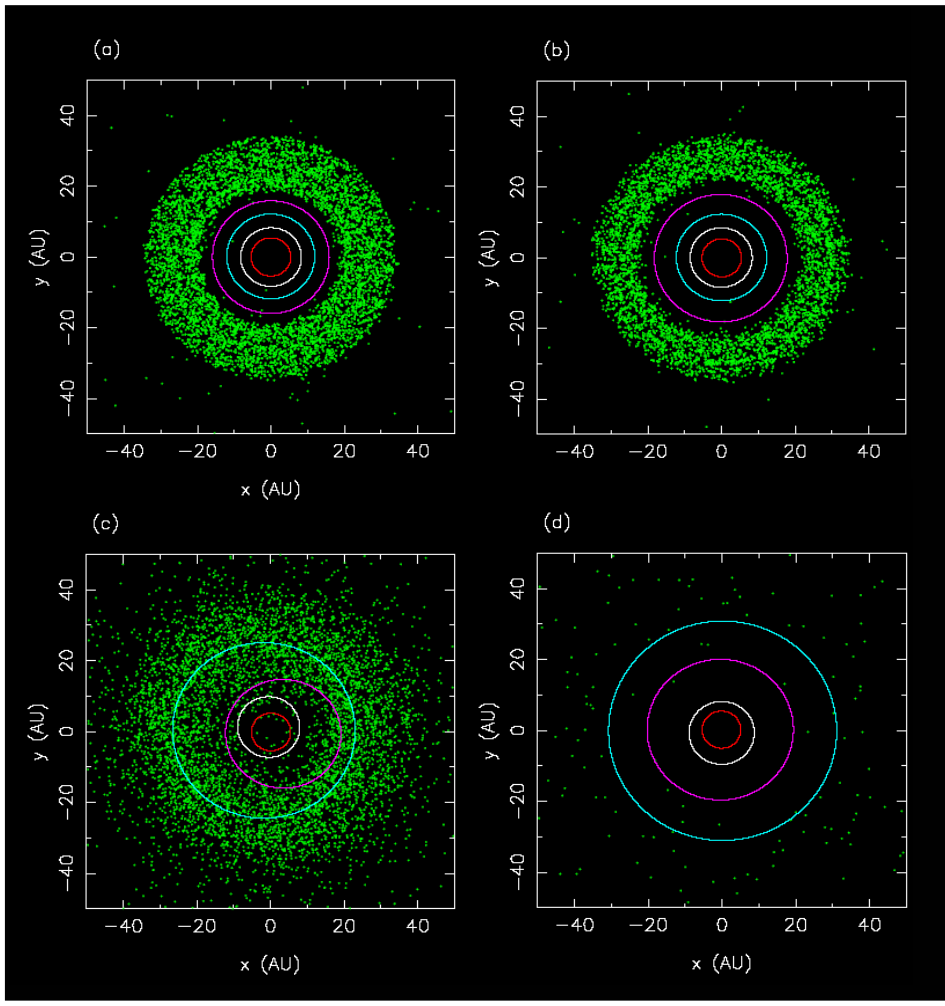
a) Début de la migration des planètes externes (T0+100 Millions d'années (Ma))

b) Configuration juste avant le LHB (T0+879Ma)

c) Configuration au début du LHB (882 Ma)

d) Configuration 200MA après c ; 3% seulement de la masse du disque reste et les planètes sont sur leurs orbites définitives.

UA =AU : "Astronomical unit" ou unité astronomique égale à la distance moyenne entre le Soleil et la Terre soit 150 000 000 de kilomètres.



Retrouver une simulation numérique complète de la "danse" des planètes (taille du film: 34 MB) réalisée par les chercheurs réunis à Nice [Voir l'animation](#)

Contact chercheur

Alessandro Morbidelli
Observatoire Côte d'Azur
Tel : 04 92 00 31 26
morby@obs-nice.fr

+ sur le CNES

<http://www.cnes.fr>

E-Space&Science vous informe des résultats des expériences scientifiques soutenues par le CNES

Directeur de la publication: **Yannick d'Escatha** ■ Directeur de la rédaction: **Arnaud Benedetti** ■ Rédacteur en chef : **Michel Viso** ■ Secrétaire de rédaction : **Myriana Lozach** ■ Diffusion du magazine: **INIST diffusion** ■

Abonnement

Vous voulez vous abonner à la version française; envoyez un mail sans objet ni contenu à : [Abonnement version Française](#)
Vous voulez vous abonner à la version anglaise; envoyer un mail sans objet ni contenu à : [Abonnement version Anglaise](#)

Désabonnement

Vous voulez vous désabonner de la version française; envoyez un mail sans objet ni contenu à : [Désabonnement version Française](#)
Vous voulez vous désabonner de la version anglaise; envoyer un mail sans objet ni contenu à : [Désabonnement version Anglaise](#)

© CNES 2005
Reproduction possible à des fins non commerciales, sous réserve d'autorisation de notre part

Conformément à la loi 78-17 "Informatique et Libertés" (art. 34 et art.36), vous disposez d'un droit d'accès, de rectification et de suppression des données vous concernant, en ligne sur ce bulletin.