

CHRONIQUE D'UNE FIN DU MONDE ANNONCEE

## FAUT-IL CRAINDRE UNE COLLISION AVEC VENUS ?

Faut-il craindre une collision avec une autre planète ? La question n'est pas ridicule, après tout Newton se la posait déjà il y a un peu moins de 350 ans. Les mathématiciens ont pris l'habitude de la reformuler différemment: le système solaire est-il stable ? Est-il par conséquent voué à rester à l'identique de ce qu'il est actuellement ?

Cette question souleva une grande inquiétude dans le public du XIX<sup>e</sup> siècle qui ne fut pleinement rassuré que lorsque François Arago (1786-1853), en 1842, rendant compte des travaux de Laplace (1749-1827) sur la stabilité du système solaire en 1793, affirma la toute-puissance du dogme déterministe laplacien : Si l'on connaissait l'ensemble des masses, positions et vitesses de tous les corps du système solaire à un instant donné, nous pourrions connaître leur trajectoire pour une durée indéterminée dans le futur, et également dans le passé. Satisfaction.

L'apaisement sera de courte durée. Dès 1892, un autre mathématicien français, Henri Poincaré (1854-1912), démontre que les méthodes utilisées par les astronomes pour calculer les trajectoires des planètes du système solaire ne peuvent conduire à la prédiction de leur mouvement sur un temps infini. Par conséquent on ne peut rien conclure sur la stabilité du système solaire. Consternation.

Les choses vont un peu plus se préciser au XX<sup>e</sup> siècle avec l'apparition du « chaos », non pas le chaos de la cosmogonie d'Hésiode, mais celui des mathématiciens qui est un chaos plus sage, dit déterministe ; Laplace aurait apprécié à n'en pas douter. Il est même possible de quantifier ce chaos grâce à un simple nombre, un exposant, l'exposant de Lyapunov (1857-1918) dont l'inverse est désigné par l'horizon de Lyapunov : c'est le temps  $\tau$  au-delà duquel, il est impossible de prédire ce que devient un système dynamique ; les erreurs initiales vont alors s'amplifier en fonction du temps  $t$  de façon exponentielle selon une loi en  $t/\tau$ . Dès lors, il ne restait plus qu'à déterminer la valeur du temps de Lyapunov du système solaire. Ce fut chose faite en 1989 grâce aux travaux de Jacques Laskar de l'IMCCE. L'horizon de Lyapunov du système solaire ne serait que de 5 millions d'années. Concrètement cela signifie qu'une incertitude d'à peine 1 km sur la position de départ d'une planète aboutirait à une erreur sur la position de cette même planète d'environ 150 millions de kilomètres – soit une unité astronomique (le rayon moyen de l'orbite terrestre) – en moins de 100 millions d'années. Il est donc impossible de prédire précisément les positions des planètes du système solaire au-delà de ~100 millions d'années. Ceci dit, à ce stade, on a progressé mais on n'a toujours pas répondu à la question initiale. Stupéfaction.

Les travaux sur le chaos dans le système solaire se sont poursuivis avec enthousiasme. La puissance des supercalculateurs permet de jouer avec le système solaire comme on prépare

un bœuf bourguignon. Tout est possible pour mettre à l'épreuve la stabilité du système solaire: enlevons les planètes intérieures, gardons-les mais enlevons la Terre, faisons subir une cure d'amaigrissement sévère au Soleil, ... Qu'en ressort-il ? Le système dit externe, composé des planètes géantes gazeuses, apparaît étonnamment stable pendant que le système interne - Mercure, Vénus, la Terre et Mars – montre une forte susceptibilité dynamique, surtout si on lui ôte la Terre ! Exaltation.

Cependant, la réponse à la question de Newton ne venait toujours pas. Pour cela il fallait être capable de trouver des trajectoires de collision, c'est-à-dire des orbites dont l'évolution chaotique pourrait amener à d'éventuelles collisions entre planètes ou avec le Soleil sur une échelle de temps inférieure à 5 milliards d'années, qui est la durée de vie restante du Soleil dans son état actuel (donc avant qu'il ne quitte la séquence principale). C'est le grand jeu de quilles céleste ! Finalement, en 2009, Laskar et Gastineau montrent, par des intégrations numériques permettant de modéliser l'évolution à long terme du système solaire, que le système solaire n'est pas structurellement stable, c'est-à-dire capable au moins de préserver son intégrité actuelle. À partir d'un grand nombre d'orbites initiales de Mercure, dont le demi-grand axe de chacune (grosso modo la distance moyenne au Soleil) diffère de l'actuel d'une très faible quantité allant de 0,4 mm à 0,5 m à peine (la précision avec laquelle nous connaissons actuellement la position de la planète est de quelques mètres), ils réussissent à trouver certaines solutions orbitales - dans une proportion de 4 sur 10 000 - menant à une augmentation considérable de l'excentricité de Mercure (l'orbite ressemble alors à une ellipse très allongée capable d'amener Mercure à la distance où se trouvent les autres planètes internes) qui serait alors capable d'engendrer une déstabilisation complète du système solaire interne d'ici 3,4 milliards d'années. Cette déstabilisation pourrait elle-même conduire soit à une expulsion de Mars du système solaire soit à des collisions entre planètes, dont 25 % concerneraient la Terre. Strike !

En définitive, une collision est certes désormais possible, mais surtout ces derniers résultats nous assurent plutôt de la très bonne constitution du système solaire qui, rapporté à l'échelle humaine et même à l'échelle de l'Univers, apparaît d'une constance toute stoïcienne. Une collision avec Vénus n'est donc pas pour demain – et encore moins pour cette année -, cependant il nous reste à admirer le prochain rendez-vous de Vénus avec le Soleil, lors de son passage devant le disque solaire le 6 juin prochain, et celui-ci sera le dernier qui nous sera donné de voir sur l'étendue d'une vie humaine ; mais ceci est une autre histoire...