

hydratés de certaines météorites révèlent qu'ils ont porté de l'eau liquide.

Puis Jupiter perturba les trajectoires des planétésimaux, modifiant à la fois l'ellipticité et l'orientation du grand axe

de l'orbite ; les collisions entre planétésimaux sont devenues de plus en plus violentes, de sorte que ces corps ont cessé de grossir (ils perdaient des morceaux ou volaient en éclats). Souvent,

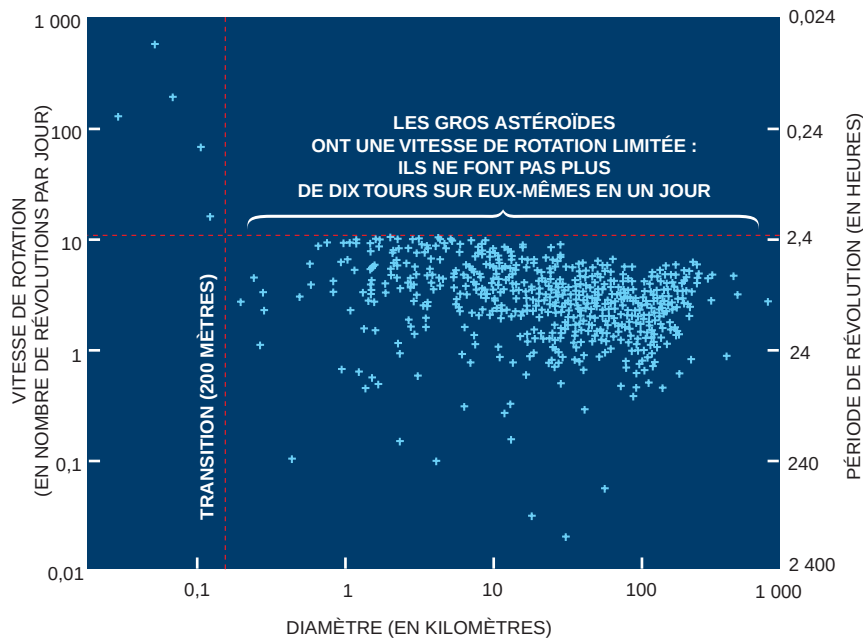
les débris ont continué à tourner autour du Soleil, formant des familles aux orbites voisines et aux spectres semblables. La plupart des astéroïdes et des météorites sont des morceaux rocheux ou métalliques de planétésimaux disloqués. D'autres – la plupart des comètes – sont des corps plus primitifs, qui ne se sont jamais différenciés, des reliques de la préhistoire des planètes.

Le ciel nous tombe sur la tête

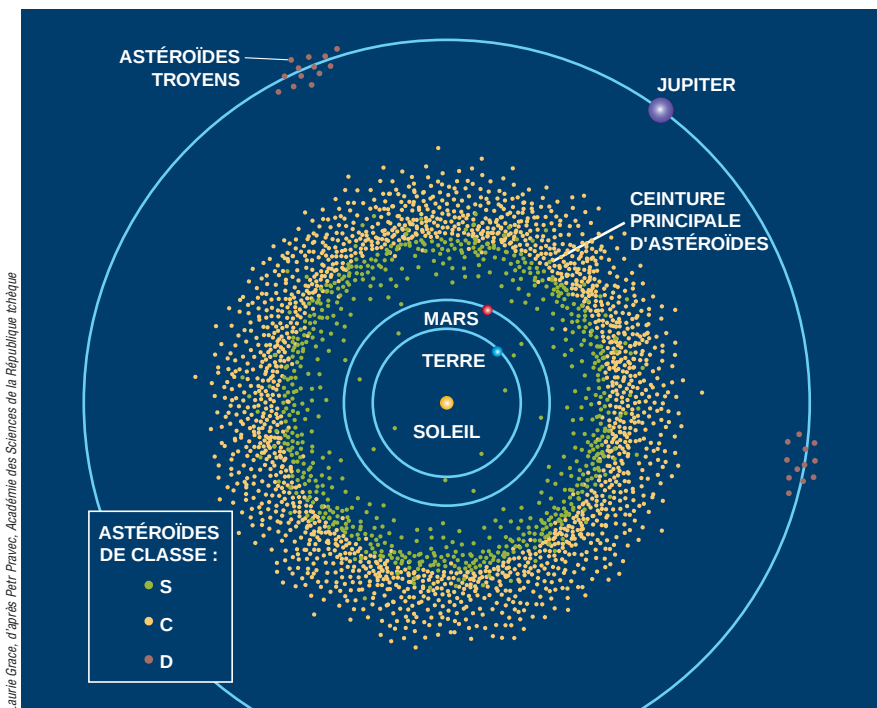
Il y a dix ans seulement, la spectroscopie des astéroïdes avait progressé, mais les astronomes n'avaient encore aucune image détaillée d'un astéroïde. Les premiers de ceux qui avaient été découverts, au début du XIX^e siècle, avaient reçu des noms mythologiques, conformément à la tradition astronomique, mais le panthéon est rapidement devenu insuffisant : quand on a commencé à repérer les astéroïdes en grand nombre, on a dû se rabattre sur les noms de leurs découvreurs, puis sur ceux de leurs femmes, bienfaiteurs, collègues... Oubliés pendant presque un siècle, ils passionnent aujourd'hui, car les sondes spatiales nous en ont rapporté des images : ils apparaissent non plus comme de faibles scintillements dans le ciel, mais comme des objets aux reliefs stupéfiants.

Cette renaissance est due en partie à Daniel Goldin, administrateur de la NASA, qui a voulu faire «plus vite, mieux, moins cher». Quelle aubaine pour les spécialistes des astéroïdes : ces corps sont plus accessibles que les planètes majeures du Système solaire. De surcroît, les planétologues et les paléontologues se sont beaucoup intéressés aux astéroïdes, car l'un d'entre eux semble avoir exterminé les dinosaures, il y a 65 millions d'années (voir *Un impact d'origine extraterrestre?*, par Walter Alvarez et Frank Asaro, *Pour la Science*, décembre 1990).

Un tel impact se reproduira certainement un jour, mais quand ? Tant que nous n'aurons pas recensé les gros astéroïdes qui frôlent la Terre, nous n'en saurons rien. Quand aux comètes potentiellement dangereuses, nous ne les recenserons jamais toutes non plus, car leur passage dans le Système solaire est extrêmement rare. La probabilité que la chute d'un corps céleste provoque une catastrophe naturelle qui perturbe l'ensemble du Globe, au cours d'une année donnée, reste extrêmement



2. LES ASTÉROÏDES semblent être de deux types. Ceux dont le diamètre est supérieur à 200 mètres, avec une rotation sur eux-mêmes en plus de deux heures, sont des tas de cailloux. Ils se disloqueraient s'ils tournaient plus vite. Les plus petits, qui tournent sur eux-mêmes en quelques minutes, sont des blocs rocheux. Les tas de cailloux étaient probablement des blocs rocheux qui se sont fragmentés lors de collisions et ont de nouveau agrégé une partie de leurs morceaux.



3. LA CEINTURE PRINCIPALE D'ASTÉROÏDES du Système solaire est à l'extérieur de l'orbite de Mars. Quelques astéroïdes solitaires traversent l'orbite de la Terre (qu'ils percutent parfois). D'autres, connus sous le nom d'astéroïdes troyens et répartis en deux groupes, sont en orbite synchrone avec Jupiter. Dans la ceinture principale, les astéroïdes sont essentiellement composés de roches et de fer (les astéroïdes de classe S). Plus loin, des astéroïdes rouges et sombres sont plus riches en carbone (les astéroïdes de classes C et D).

faible : c'est la même que la probabilité d'avoir une quinte flush royale au poker. Pourtant, certains de mes collègues caractérisent les astéroïdes par leur potentiel explosif exprimé en mégatonnes, plutôt que par leur diamètre. Les astronomes voudraient que les astéroïdes intéressent pour ce qu'ils sont, mais c'est l'aspect spectaculaire dont le public est friand.

Sa curiosité a d'ailleurs déterminé les récentes explorations des comètes et des astéroïdes. Nous avons aujourd'hui des images d'une dizaine de ces objets et, chaque fois, nous sommes surpris par leurs caractéristiques inédites.

Des tas de cailloux

On pensait que les petits astéroïdes étaient durs et rocheux, car on supposait que les cailloux de leur surface qui s'en détachaient lors des collisions (le régolithe) s'en échappaient, la gravité étant trop faible pour les retenir. On pensait aussi que les petits corps n'étaient jamais des agrégats, car le moindre mouvement rotatif soutenu aurait séparé leurs fragments. Les observations et les simulations récentes ont obligé les astronomes à revoir leurs théories, et l'on considère maintenant que la plupart des astéroïdes de plus de un kilomètre de diamètre sont des assemblages de plusieurs morceaux.

Les images indiquent la présence de régolithe, malgré la faible gravité. La plupart de ces astéroïdes ont un ou plusieurs grands cratères : certains ont un rayon supérieur à l'astéroïde lui-même. Des impacts assez violents pour former de tels cratères ont-ils fragmenté les astéroïdes ? Les mesures de densité moyenne semblent le confirmer : les valeurs mesurées sont étonnamment faibles, ce qui indique que ces corps comportent des cavités.

Ainsi les astéroïdes de plus de un kilomètre de large sont probablement des agrégats sans aucun noyau rocheux. Cette hypothèse du «tas de cailloux» date d'une vingtaine d'années, mais on n'imaginait pas qu'elle s'appliquerait à de si petites échelles.

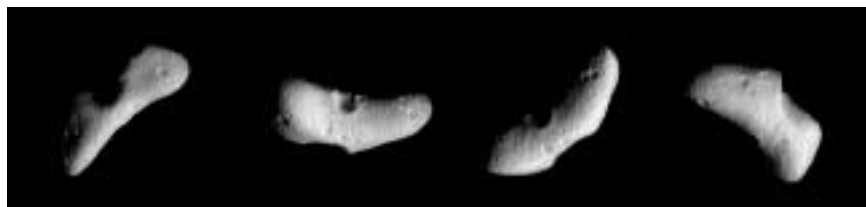
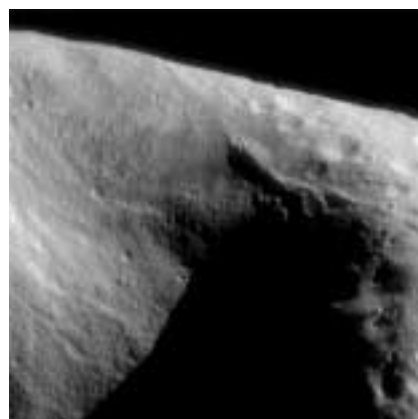
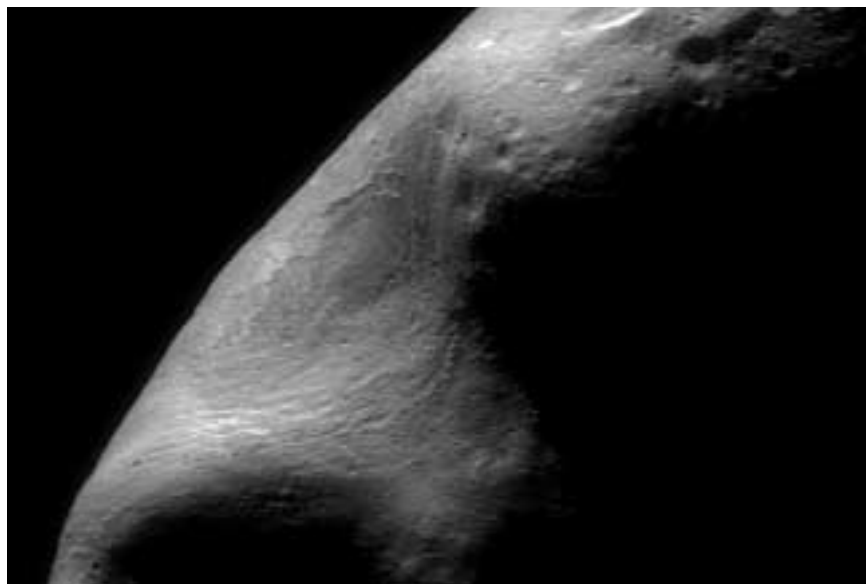
Il y a trois ans, quand la sonde NEAR a survolé l'astéroïde Mathilde, le planétologue Eugene Shoemaker a compris que les immenses cratères et la très faible densité observés s'expliquaient mutuellement : un tas de cailloux supporte beaucoup mieux les chocs qu'un objet d'un seul tenant ; il absorbe et dissipe l'énergie, de sorte que

la face opposée au choc reste inchangée. Les astéroïdes se comportent plutôt comme des sacs de sable frappés par une balle de revolver que comme des vases de cristal.

Pourquoi la plupart des astéroïdes ont-ils une forme si irrégulière ? Elle semble être l'apanage de corps solides, contrairement à l'hypothèse précédente. Toutefois, l'intuition a ses limites. D'après les clichés dont nous disposons, la surface des astéroïdes n'est jamais très inclinée, de sorte que les

débris qui s'y trouvent ne roulent pas. Dans les zones les plus inclinées, on voit des traces de glissements. De petites planètes constituées de roches, voire de sable, peuvent conserver une forme irrégulière (le sable du désert forme bien des dunes, sans être monolithique) ; une rotation rapide contribuerait à les allonger.

En 1992, l'observation de la comète Shoemaker-Levy 9 a corroboré l'hypothèse du tas de cailloux : en s'approchant trop de Jupiter, cette comète



4. ÉROS est composé de plusieurs morceaux, parcourus par des failles, des escarpements et des crêtes. Le relief le plus important est une dépression dont l'intérieur présente des marques inexplicables, mais pas de cratère. Le cratère le plus grand mesure six kilomètres de diamètre. Les débris déposés sur ses bords indiquent que les forces de gravité ont fait retomber les matières éjectées lors d'une collision avec un autre corps. Une arête parallèle aux marques précédentes suggère qu'Éros est parcouru par un système de failles. Il effectue un tour sur lui-même en cinq heures et demie.

Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory et NASA