

mais sa forme est sphéroïdale. Le minuscule astéroïde Dactyle serait «gros», car il est sphéroïdal et ses cratères sont nets. Manifestement, la théorie des astéroïdes reste incomplète.

## État de choc

Ce constat n'a rien de surprenant : même sur la Terre, les physiciens comprennent encore mal le comportement des tas de sable ou les glissements de terrain. En revanche, deux types d'études commencent à éclairer le comportement des astéroïdes au cours des collisions.

Derek Richardson et ses collègues de l'Université de Washington simulent les astéroïdes par des piles de sphères discrètes. Telles des boules de billard cosmiques sur une table bancale (ce défaut correspondant à la gravité), ces sphères se heurtent, rebondissent et ralentissent en raison des frottements

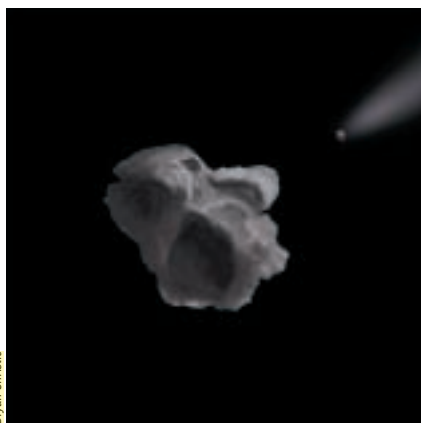
et d'autres formes de dissipation de l'énergie. Quand les chocs donnent aux boules assez d'énergie, elles se dispersent, mais, en général, elles finissent par se regrouper. Les simulations de D. Richardson s'appliquent à l'étude des collisions peu violentes qui ont abouti à l'accrétion des astéroïdes dans le Système solaire primitif, avant que la vitesse des petits corps n'augmente sous l'influence gravitationnelle de la planète Jupiter, alors naissante. Cependant, dans ce modèle, on constate que l'accrétion de matériel sur les planétésimaux est difficile, même après les collisions les moins violentes.

La description des collisions à grande vitesse, telles qu'elles eurent lieu lors des quatre derniers milliards d'années, est plus compliquée, parce que de nombreux phénomènes ont alors joué : la cohésion des astéroïdes, leur friabilité, les changements de

phase, la génération et la propagation des ondes de choc...

Avec W. Benz, j'ai cherché de nouvelles techniques de calcul pour traiter ce genre de cas. Au lieu de considérer les astéroïdes comme des assemblages de sphères, nous les traitons comme des corps continus faits de plusieurs couches, avec des fissures et des cavités.

Nous avons notamment simulé l'impact d'un objet de 6 000 tonnes sur l'astéroïde Castalie (de masse égale à un milliard de tonnes), à une vitesse de cinq kilomètres par seconde. Cette collision libère une énergie égale à 17 kilotonnes, soit autant que l'explosion d'Hiroshima. C'est assez pour briser Castalie, constituée, dans notre simulation, de deux morceaux soudés par la gravité. Nous observons également que le projectile, ainsi qu'une partie de Castalie de même masse

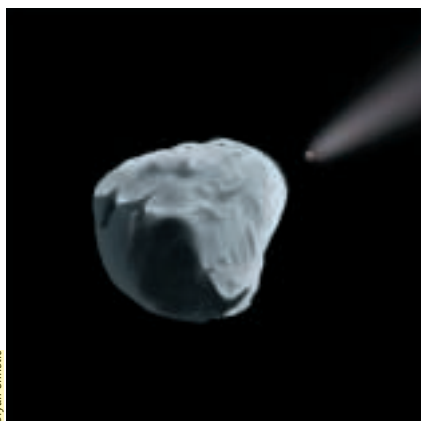


Bryan Christie

**5. UN ASTÉROÏDE FORMÉ DE MORCEAUX AGGLOMÉRÉS** et dont la structure témoigne des collisions passées rencontre un astéroïde plus petit, qui se déplace à grande vitesse. De tels chocs sont courants. Ils ne provoquent qu'une désagrégation localisée. En quelques minutes, les débris les plus petits et les plus rapides



s'échappent. Les plus gros dérivent lentement vers l'extérieur. Certains finissent par s'échapper, mais d'autres reviennent vers l'astéroïde. Quelques jours plus tard, la situation s'est stabilisée et, progressivement, les débris issus de collisions ultérieures recouvrent les traces de celle-ci.

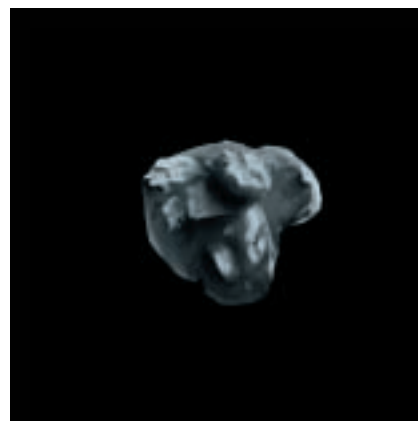


Bryan Christie

**6. UN ASTÉROÏDE MONOLITHIQUE** ne réagit pas à une collision comme un astéroïde formé de morceaux agglomérés, de même qu'une bûche ne réagit pas à un coup de hache comme un tas de copeaux de bois. L'onde de choc se propage en profondeur, faisant éclater l'astéroïde entier. Les débris les plus rapides s'échappent. Les plus gros gravi-



tent lentement autour de l'astéroïde pendant plusieurs heures. Beaucoup se rassemblent, formant un nouvel astéroïde. Les astéroïdes monolithiques se transforment donc souvent en astéroïdes agglomérés. Peu d'astéroïdes monolithiques de plus de quelques centaines de mètres subsistent.



que le projectile, se vaporisent en quelques millisecondes, engendrant une onde de choc puissante. Comme cette dernière ne se propage pas dans le vide, elle rebondit sur les surfaces de l'astéroïde, y compris sur la fracture entre ses deux parties. De ce fait, le morceau de l'astéroïde qui n'a pas été heurté directement n'est pas perturbé par l'onde de choc, tandis que le morceau heurté se divise en plusieurs dizaines de gros fragments, qui mettent des heures à se disperser ; les plus gros finissent par se rassembler.

En changeant la configuration initiale ou les paramètres de l'astéroïde, qui sont d'ailleurs mal connus, on obtient des résultats complètement différents. Notamment, si on définit les astéroïdes comme des tas de cailloux, ils explosent difficilement.

## Rendez-vous avec Éros

En comparant les images d'astéroïdes à des simulations fondées sur différentes hypothèses initiales, on cherche à comprendre les caractéristiques les plus étranges de ces corps. Avec Peter Thomas, de l'Université Cornell, nous avons ainsi analysé la collision qui forma le plus gros cratère de l'astéroïde Mathilde : nous obtenons un diamètre, une forme et un dépôt de débris analogues à ceux qui ont été observés.

Quand on suppose que Mathilde fut initialement d'un seul tenant, on doit conclure que l'astéroïde se serait cassé en plusieurs dizaines de morceaux, contrairement aux observations. Avec l'hypothèse du tas de cailloux, la simulation concorde avec les observations. Kevin Housen, du Laboratoire Boeing de physique des collisions, pense aussi que Mathilde est un tas de cailloux, mais il considère que les cratères sont des fosses de tassement, comme des creux dans un sac de grain, plutôt que le résultat de collisions.

Ces études préparent les missions futures. Selon que les astéroïdes sont des agglomérats ou des monolithes, on n'utilisera pas les mêmes méthodes pour prélever des échantillons ; à plus longue échéance, on devra également tenir compte de la constitution des astéroïdes pour y construire des télescopes, en extraire des minéraux ou les dévier s'ils menacent la Terre. L'irrégularité du champ gravitationnel complique déjà les missions d'exploration des astéroïdes et des comètes : autour de ces corps, les

sondes ont souvent des orbites chaotiques, de sorte qu'elles risquent de s'écraser à la surface des objets qu'elles visitent ; pour les mêmes raisons, le pointage des caméras et des autres instruments dans la bonne direction est difficile. Pour éviter ces inconvénients, la sonde NEAR observe Éros en restant à plus de 100 kilomètres de lui, de sorte que l'objet, en forme de pomme de terre irrégulière, exerce une attraction analogue à celle d'une sphère. En mesurant les écarts de NEAR par rapport à une orbite elliptique, on déterminera la répartition des masses à l'intérieur d'Éros.

NEAR tourne autour de cet astéroïde à la vitesse d'un cycliste peu pressé. La sonde envoie vers la Terre une quantité considérable d'informations qui devraient d'abord montrer la différence entre les astéroïdes et les météorites. Des caméras cartographient Éros avec une résolution de quelques mètres, des spectromètres analysent sa composition, et un magnétomètre détectera un éventuel champ magnétique propre, ainsi que ses interactions avec le champ solaire. Les missions suivantes étudieront les astéroïdes et les comètes encore plus en détail, à l'aide de modules qui se poseront, feront des forages et renverront des échantillons. Ainsi comprendra-t-on mieux la physique des petits corps planétaires, où la cohésion joue parfois un rôle aussi important que la gravité. Assez gros pour retenir leur substance, mais trop petits pour lui donner une forme ronde, ni rochers ni planètes, les astéroïdes tiennent à la fois du ciel et de la Terre.

Erik ASPHAUG est astrophysicien à l'Université de Californie.

*Hazards Due to Comets and Asteroids*, sous la direction de Tom Gehrels, University of Arizona Press, 1994.

John LEWIS, *Mining the Sky*, Addison-Wesley, 1996.

Erik ASPHAUG, Steven J. OSTRO, R.S. HUDSON, D.J. SCHEERES et Willy BENZ, *Disruption of Kilometre-Sized Asteroids by Energetic Collisions*, in *Nature*, vol. 393, pp. 437-440, 4 juin 1998.

Harry MCSWEEN, *Meteorites and Their Parent Planets*, deuxième édition, Cambridge University Press, 1999.

Eileen RYAN et William BOTTKE, *Asteroid Fragmentation and Evolution of Asteroids*, in *Annual Reviews of Earth and Planetary Science*, vol. 28, pp. 367-389, Annual Reviews, 2000.



## CE QUE DISENT LES PIERRES Maurice Mattauer

*Ce livre vous convie à une promenade illustrée dans l'univers des pierres. À partir de l'image, Maurice Mattauer, professeur de géologie à l'Université de Montpellier, reconstitue l'histoire des roches et les grands événements dont elles sont les témoins, et invite à un «retour aux pierres», gage d'une nouvelle compréhension de la nature.*

Code P001 • 100 F  
144 pages

Voir bon de commande  
page 90