

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

Les muqueuses, sources d'immunité

FRANÇOISE MASCART • CAMILLE LOCHT

Les muqueuses, les couches cellulaires qui tapissent notamment l'intestin et les poumons, forment une barrière entre l'intérieur de l'organisme et l'extérieur. Elles empêchent l'entrée des agents étrangers et sont dotées d'un système immunitaire spécifique qui est activé quand cette barrière est franchie.

Mithridate VI, sultan oriental et empereur tyrannique, fut, dans les années -100 à -60, le précurseur de l'immunité acquise par les muqueuses. À juste titre, il craignait qu'on ne l'empoisonne. Afin de se protéger contre les poisons usuels à base de plantes, il ingéra quotidiennement de faibles quantités d'extraits végétaux. Cette «vaccination orale» eut un pouvoir protecteur que lui-même n'avait pas escompté. Trahi par son propre fils, l'empereur tenta de se donner la mort avec ses filles en avalant le poison dont il avait caché une dose létale dans la poignée de son sabre. Ses deux filles succombèrent, mais lui survécut ; il demanda à son mercenaire de le poignarder, afin d'échapper à ses soldats, qui s'étaient mutinés et voulaient le capturer.

Constamment exposé à des agresseurs – virus, bactéries, parasites, champignons – présents dans l'environnement, l'organisme se défend : sa survie en dépend. Les microbes profitent de toutes les «portes d'entrée» possibles pour infecter l'organisme : les muqueuses qui tapissent le tube digestif, les voies respiratoires, le système urinaire et les voies sexuelles. La surface des muqueuses est considérable : si on les étalait, les muqueuses qui tapissent le tube digestif de l'homme recouvriraient tout un terrain de tennis (soit 400 mètres carrés) ! Les muqueuses sont pourvues d'un système immunitaire de riposte immédiate qui bloque les infections : 80 pour cent de toutes les cellules immunitaires appartiennent au

système des muqueuses. S'il est pourvu des mêmes constituants que le système immunitaire général, le système immunitaire des muqueuses contient des cellules et des molécules spécifiques sur lesquelles nous reviendrons.

La tâche du système immunitaire des muqueuses est encore plus délicate que celle du système immunitaire général, encore nommé systémique : s'il doit, comme ce dernier, distinguer les molécules propres à l'organisme – le soi – des molécules étrangères – le non-soi –, il doit aussi différencier les micro-organismes pathogènes contre lesquels il défend l'organisme et les micro-organismes inoffensifs, voire même utiles pour l'organisme, qui doivent être «tolérés» : ce sont, par exemple, les aliments ou les bactéries non pathogènes de la flore intestinale normale qui sont indispensables. Contrairement au système immunitaire systémique, le système des muqueuses a élaboré des mécanismes de tolérance vis-à-vis de divers antigènes.

Nous examinerons quels sont les acteurs du système immunitaire des muqueuses, les mécanismes de sensibilisation, d'activation et de tolérance, les maladies déclenchées par un fonctionnement anormal du système immunitaire et, enfin, les applications potentielles : puisque de nombreux micro-organismes pathogènes pénètrent dans l'organisme par les muqueuses, on pourrait utiliser cette porte d'entrée pour introduire des vaccins destinés à protéger l'organisme. En effet, le système immunitaire est doté de mémoire :

certaines infections protègent contre des infections ultérieures par le même germe, et le système immunitaire se souvient des germes qu'il a déjà rencontrés et qu'il a réussi à éliminer. La vaccination repose sur cette mémoire immunitaire spécifique de l'agent infectieux : bien qu'ils ne déclenchent pas d'infection, les vaccins apprennent au système immunitaire à reconnaître les antigènes de divers agents pathogènes. La vaccination par les muqueuses est aujourd'hui une voie d'immunisation dont on découvre les multiples applications potentielles.

Les cellules M

Dès le début du XX^e siècle, les immunologistes avaient compris que les muqueuses ont leur propre système de défense, indépendant du système immunitaire systémique. Elles hébergent, dans des compartiments spécialisés qui leur sont associés, des acteurs cellulaires et moléculaires spécifiques.

1. LE SYSTÈME IMMUNITAIRE DES MUQUEUSES est activé par les molécules spécifiques, ou antigènes, de micro-organismes présents dans la «lumière» des poumons ou de l'intestin. Ces antigènes pénètrent dans l'organisme par l'intermédiaire des cellules M, interface entre le milieu extérieur et l'intérieur de l'organisme. Dès que les antigènes sont en contact avec les cellules du système immunitaire, regroupées dans les plaques de Peyer, ils les activent. Les lymphocytes activés quittent ces amas cellulaires : ils empruntent le circuit lymphatique, puis la circulation sanguine. En cheminant dans l'organisme, ils transmettent l'immunité aux autres muqueuses.