

> de 2016, Dan Littman, de l'université de New York, Jun Huh, de la faculté de médecine de l'université du Massachusetts, et leurs collègues ont montré que l'agent qui déclenche l'inflammation est une petite protéine messagère du système immunitaire – l'interleukine-17 – produite par les cellules immunitaires de la mère. Grâce à des techniques d'imagerie avancées, ils ont observé que cette protéine était directement responsable d'infimes changements structuraux dans le cerveau des fœtus affectés.

Mais comment l'interleukine-17 maternelle franchit-elle le placenta pour atteindre le cerveau du fœtus alors que de nombreuses autres molécules de taille similaire en sont incapables? Deux hypothèses en particulier sont à l'étude: selon l'une, le placenta transporterait activement cette protéine du sang maternel vers le système circulatoire fœtal, lui donnant ainsi accès au cerveau; selon l'autre, les cellules immunitaires de la mère qui produisent la protéine franchiraient directement le placenta jusqu'au fœtus.

POURQUOI ZIKA INFECTE-T-IL PLUS LES FOETUS BRÉSILIENS?

L'épidémie de Zika illustre les dégâts qu'un virus infectant la mère peut infliger lorsqu'il parvient à franchir le placenta. Toutefois, à l'heure actuelle, l'étude du mode d'action de ce virus soulève plus de questions qu'elle n'apporte de réponses. Ce n'est pas très surprenant: le lien entre l'infection par le virus Zika pendant la grossesse et les troubles observés chez les nouveau-nés n'a été établi que récemment. Même le nombre de malformations congénitales est incertain et semble varier selon les régions. Dans une étude parue en janvier 2017 sur la population américaine, des chercheurs des départements américains de santé publique et du Centre américain de contrôle et de prévention des maladies n'ont détecté de malformations congénitales que chez 6% des fœtus dont la mère avait été infectée par Zika. Mais une étude parue un mois plus tôt sur la population brésilienne a montré que près de la moitié des fœtus infectés présentaient des séquelles. De plus, certains enfants brésiliens ont développé des troubles neurologiques *a posteriori*, alors qu'ils avaient été diagnostiqués comme sains. Ainsi, les conséquences les plus lourdes de l'infection – en particulier la microcéphalie – semblent se manifester davantage au Brésil qu'ailleurs. Certains chercheurs suspectent une substance chimique présente dans l'environnement brésilien d'affaiblir le placenta et de le rendre plus sensible à Zika. Mais une infection simultanée avec un microbe local pourrait aussi être à l'œuvre.

Le mécanisme par lequel le virus Zika rejoint le fœtus reste aussi à préciser. Traverse-t-il le placenta, infectant chaque cellule sur son passage quel que soit son type? Ou est-il

Des anomalies du placenta seraient impliquées dans des maladies chez l'adulte

véhiculé par un type cellulaire particulier, comme les cellules immunitaires de la mère? On sait que certains agents pathogènes remontent du vagin vers l'utérus, accédant ainsi aux tissus fœtaux. Quelle que soit la façon dont le virus Zika atteint le fœtus, une fois arrivé, il s'y établit solidement. En effet, les pathologistes moléculaires du Centre américain de contrôle et de prévention des maladies ont découvert que Zika est capable de persister plusieurs mois dans le placenta et de se répliquer dans le cerveau d'un enfant même après sa naissance.

Zika n'est pas le seul agent pathogène qui s'attaque au fœtus. Chaque année dans le monde naissent quelque 100 000 bébés atteints de la rubéole congénitale, source de surdité, d'une déformation des yeux, de maladies cardiaques et d'autres troubles importants. Le paludisme, l'herpès et la fièvre Ebola causent aussi des dégâts létaux s'ils sont contractés pendant la grossesse. Les mécanismes par lesquels ils infectent le fœtus restent à déterminer, mais des pistes se dessinent. Certains pathogènes infecteraient plus facilement que d'autres les trophoblastes placentaires, en particulier au début de la grossesse. Les mécanismes immunitaires de l'interface fœtomaternelle sont probablement aussi impliqués, les cellules immunitaires utérines ayant deux fonctions contradictoires. D'un côté, elles protègent le fœtus et le placenta des infections. De l'autre, elles empêchent le système immunitaire maternel d'attaquer le placenta.

Pour combler ces lacunes, l'Institut américain Eunice Kennedy Shriver pour la santé des enfants et le développement humain a lancé, il y a trois ans, le *Human placenta project*. Son objectif est de comprendre cet organe encore mal connu qui «influence sur la santé d'une femme et de son enfant non seulement durant la grossesse, mais tout au long de leur vie». Au regard des impacts du placenta sur la santé, sa compréhension devrait être une priorité de la recherche en santé. ■

BIBLIOGRAPHIE

E. Maltepe et S. J. Fisher, **Placenta : The forgotten organ**, *Annu. Rev. Cell Dev. Biol.*, vol. 31, pp. 523-552, 2015.

A. Moffett et F. Colucci, **Uterine NK cells : Active regulators at the maternal-fetal interface**, *J. Clin. Investig.*, vol. 124(5), pp. 1872-1879, 2014.

A. Erlebacher, **Immunology of the maternal-fetal interface**, *Annu. Rev. Immunol.*, vol. 31, pp. 387-411, 2013.

I. Brosens et al., **The « Great obstetrical syndromes » are associated with disorders of deep placentation**, *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, vol. 204(3), pp. 193-201, 2011.

E. D. Carosella et N. Rouas-Freiss, **Comment la mère tolère son fœtus**, *Pour la Science*, n° 410, pp. 46-52, 2011.

À DÉCOUVRIR ÉGALEMENT
le hors-série Pour la Science



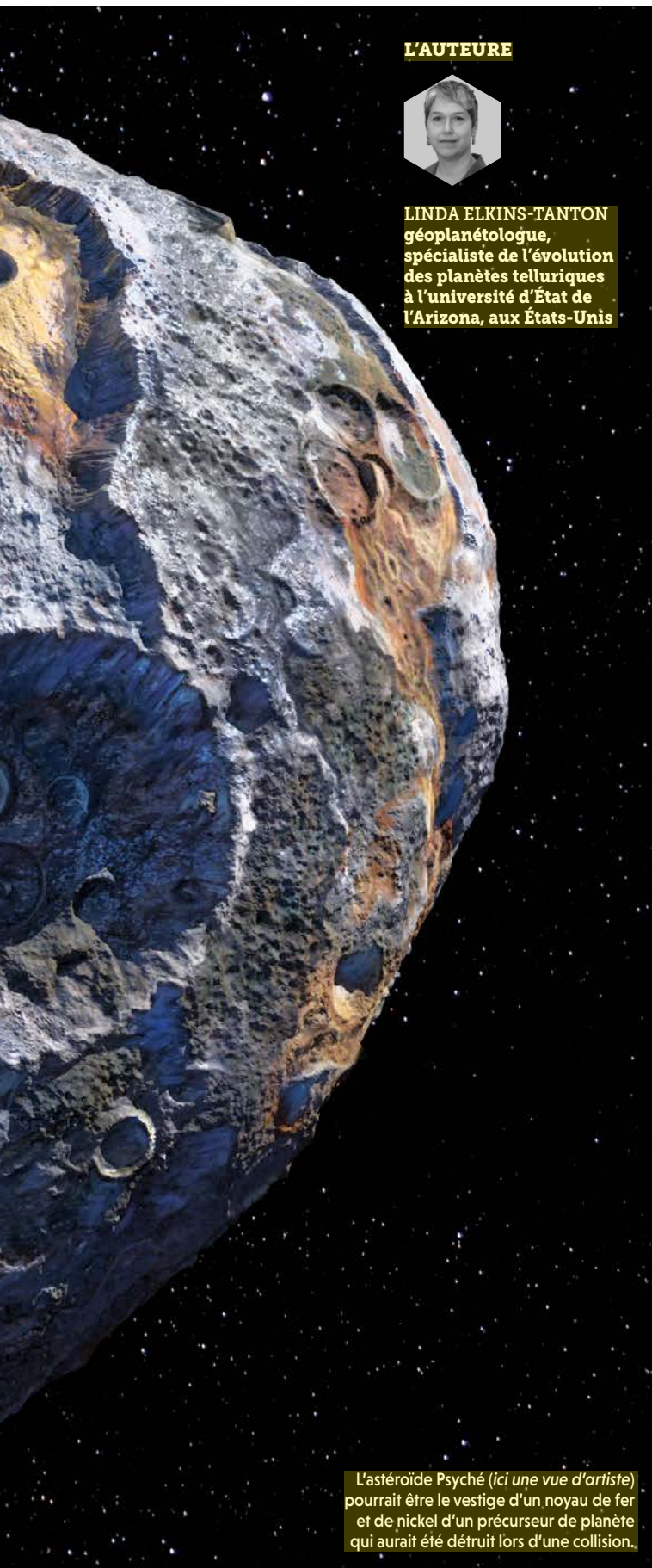
En vente chez
votre marchand de journaux
ou sur boutique.pourlascience.fr

POUR LA  **SCIENCE** 



La naissance fulgurante des planètes

Une naissance lente et progressive : tel était le scénario des origines pour les planètes du Système solaire. Mais des études récentes, notamment de la météorite Allende, racontent une autre histoire, bien plus rapide et agitée.



L'AUTEURE



LINDA ELKINS-TANTON
géoplanétologue,
spécialiste de l'évolution
des planètes telluriques
à l'université d'État de
l'Arizona, aux États-Unis

L'astéroïde Psyché (ici une vue d'artiste) pourrait être le vestige d'un noyau de fer et de nickel d'un précurseur de planète qui aurait été détruit lors d'une collision.

L'ESSENTIEL

> Jusqu'il y a tout juste dix ans, les astrophysiciens pensaient que le Système solaire s'était formé suivant un processus de croissance lent et régulier, allant de petites particules de poussière aux grosses planètes.

> Des analyses récentes de météorites, vestiges de la naissance du Système solaire, indiquent au contraire

que sa formation a été le fruit d'un processus chaotique et rapide impliquant de nombreuses collisions.

> Pour vérifier ce scénario, une sonde partira en 2022 vers Psyché, un étrange astéroïde entièrement métallique qui serait le fragment dénudé d'un ancien noyau planétaire.

Alors que je sortais d'une salle de cours au MIT (Institut de technologie du Massachusetts), où je venais de discuter avec les étudiants de la façon dont se forment les planètes, mon collègue Ben Weiss m'a invitée dans son bureau. Spécialiste du magnétisme dans les roches spatiales, il voulait me montrer les nouvelles données concernant l'un de ces cailloux, une météorite du nom d'Allende. Il était très excité, car ces résultats avaient le potentiel de chambouler presque tout ce que les géologues planétaires pensaient savoir des débuts du Système solaire.

Cet épisode remonte à 2009 et, cet automne-là, l'équipe de Ben Weiss a montré qu'Allende (qui s'est écrasée au Mexique en 1969 et qui contient certains des plus vieux matériaux connus du Système solaire) portait dans sa structure des signes de l'existence d'un champ magnétique ancien. Cette découverte était une surprise, car les astrophysiciens pensaient que les champs magnétiques étaient l'apanage des grandes planètes, comme la Terre, où se manifeste un effet de dynamo magnétique. Ce dernier est dû aux mouvements turbulents de convection du métal chaud et liquide à l'intérieur de ces planètes. Or Allende était probablement un fragment d'un planétésimal (un embryon de planète). Et d'après ce que l'on pensait à l'époque, un planétésimal ne pouvait pas atteindre une température suffisante pour que le métal qu'il contenait puisse fondre. Comment était-il alors possible, se demandait Ben Weiss, que cet ancien vestige du Système solaire ait produit une dynamo magnétique?

Mes étudiants venaient de m'assaillir de questions sur l'évolution planétaire m'incitant à revoir certaines vérités enseignées dans les manuels, et il se trouvait que j'avais les grandes lignes d'une idée nouvelle qui pouvait aider Ben Weiss. Je me suis approchée de son tableau blanc, et j'ai commencé à esquisser mon raisonnement.

On sait depuis longtemps que les planétésimaux contenaient des éléments radioactifs, des atomes instables de courte durée de vie, notamment de >

➤ L'aluminium 26. Lorsque celui-ci se désintègre, il libère un peu d'énergie, la même qui a servi de source de chaleur pour les planétésimaux. Or si l'on suppose que la chaleur produite par l'aluminium 26 a suffi pour que le planétésimal fonde naturellement depuis l'intérieur, les conséquences sont nombreuses pour l'évolution du corps.

Le métal liquide contenu dans le planétésimal se serait alors séparé du reste de la roche, aurait migré vers le centre du corps (car le métal est plus dense que la roche) et y aurait formé un noyau liquide. Celui-ci, mû par la rotation du caillou spatial, aurait engendré une dynamo magnétique. Entre-temps, les températures glaciales de l'espace environnant auraient refroidi l'extérieur du planétésimal. Et des roches et des poussières froides issues du disque primitif du Système solaire auraient continué à s'ajouter à cette écorce non fondue.

DAVANTAGE D'ALUMINIUM RADIOACTIF

Ainsi, les premières briques du Système solaire, les planétésimaux, auraient contenu plus d'énergie qu'on ne le supposait dans le scénario classique de formation des planètes. Ce processus était-il à revoir? A-t-il été beaucoup plus rapide qu'on ne le pensait, de sorte que l'aluminium 26 était encore présent en abondance dans les planétésimaux? Dans ce cas, cet isotope radioactif a constitué une source de chaleur importante, bien plus que si ces corps s'étaient formés en un temps plus long.

Les manuels décrivent encore souvent la formation du Système solaire comme un processus calme et ordonné qui a débuté il y a 4,567 milliards d'années. L'histoire commence avec un nuage de gaz et de poussière en rotation qui s'est aplati en un disque autour d'une jeune étoile en phase de croissance. Ce mélange de gaz et de poussière a formé une multitude de petits agglomérats dont la taille a peu à peu augmenté jusqu'à atteindre des dizaines ou des centaines de kilomètres de diamètre. En s'entrechoquant, ces planétésimaux se sont agrégés et ont donné naissance à des corps plus imposants, à peu près de la taille de Mars, nommés embryons planétaires.

C'est seulement à partir de cette étape que la température dans ces planètes en devenir a commencé à augmenter notablement. En grandissant, ces embryons ont acquis une gravité suffisante pour nettoyer leurs orbites des débris environnants (soit en les absorbant, soit en les éjectant) et sont ensuite entrés en collision les uns avec les autres pour donner naissance aux planètes. Finalement, l'intérieur de ces planètes s'est réorganisé en deux parties distinctes: le noyau métallique, liquide et turbulent, et un manteau de silicates fondu, océan de magma qui allait se refroidir progressivement.

Cette mécanique bien huilée correspond à l'ancienne vision des choses. Mais, alors que Ben Weiss et moi commençons à étudier Allende et le rôle de l'aluminium 26, d'autres données indiquaient déjà que le Système solaire primordial avait été, en réalité, le théâtre de changements rapides et violents. De nos jours, cette séquence sage où l'on passe, dans l'ordre, de la poussière aux cailloux, puis aux planétésimaux, aux embryons et, enfin, aux planètes, est en train d'être supplantée par un autre scénario. La période de formation des planétésimaux,



Des planètes se sont formées, déchiquetées et reconstruites en moins de 10 millions d'années



dont on supposait il y a encore peu qu'elle s'étirait sur des centaines de millions d'années, aurait duré seulement 3 millions d'années.

À cette fenêtre de temps très réduite, il fallait ajouter le fait que si les petits composants initiaux renfermaient davantage d'énergie (comme l'énergie apportée par la radioactivité de l'aluminium et les premières collisions entre planétésimaux) qu'on ne le pensait, la différenciation en un noyau et un manteau se serait faite sans attendre. Ainsi, des planétésimaux relativement petits ont pu subir des processus que l'on croyait auparavant réservés aux planètes: fusion et dégazage, apparition d'une dynamo magnétique, volcanisme...

En outre, de nouvelles simulations indiquaient que les corps du Système solaire n'ont pas fait qu'augmenter en taille au cours du temps: souvent, lors des collisions, de gros objets ont éclaté pour en donner d'autres plus petits. En effet, si des masses sphériques de taille planétaire se sont formées au cours de ces premiers temps par accrétion de petits corps, par la suite, des collisions entre planétésimaux les ont parfois dénudés ou détruits. Leurs débris ont ensuite heurté d'autres corps sphériques et s'y sont agglomérés pour, finalement, leur conférer une taille de planète. Des planètes ont ainsi pu se former, se déchiqueter et se reconstruire en moins de 10 millions d'années.

Si les planétologues ont réussi à assembler cette nouvelle vision d'un jeune Système solaire ➤