

les excroissances alors constatées à l'emplacement de la fracture. Afin de révéler l'arrangement des fibres de collagène, il est possible de déminéraliser les os d'un oiseau actuel ou de tout autre animal en utilisant des acides faibles. C'est ce que nous avons tenté : s'il s'agissait bien d'os médullaire contenant du collagène, l'élimination des minéraux révélerait l'orientation aléatoire des fibres. Or c'est bien un amas de tissu flexible et fibreux que nous avons observé une fois la déminéralisation effectuée. Nous avons répété la même expérience à de multiples reprises, avec le même résultat à chaque fois. Tout se passait exactement comme lorsque l'os médullaire d'oiseaux actuels est traité de la même façon...

Qui plus est, lorsque nous avons ensuite dissous des morceaux de l'os plus dense et plus fréquent qu'est l'os cortical, nous avons obtenu d'autres tissus mous. Des tubes creux, transparents, flexibles et ramifiés apparaissaient dans la matrice en dissolution – et ils ressemblaient

tout à fait à des vaisseaux sanguins. Suspendus à l'intérieur de ces vaisseaux se trouvaient soit de petites structures rouges et rondes, soit des amas amorphes de matière rouge. D'autres expériences de déminéralisation ont révélé des ostéocytes, les cellules osseuses qui sécrètent le collagène et d'autres composés constituant la partie organique de l'os. Le dinosaure tout entier semblait contenir du matériel préservé qui n'avait jamais été trouvé auparavant dans un fossile de dinosaure !

Lorsqu'en 2005, nous avons publié nos observations de ce qui semblait être du collagène, des vaisseaux sanguins et des cellules osseuses, l'article retint l'attention de la communauté scientifique, mais sans la faire sortir de son attitude attentiste.

Il faut dire que nous nous limitions à annoncer une ressemblance entre les matériaux découverts et des composants modernes, mais nous n'affirmions pas qu'il s'agissait des mêmes substances. Après des millions d'années passées dans des sédiments et des conditions géochimiques

fluctuantes, ce qui avait été conservé dans les fossiles pouvait n'avoir plus beaucoup de rapport avec les substances présentes du vivant des animaux. Le seul moyen de prouver de façon ferme et définitive la nature de ces matériaux consistait à établir avec précision leur composition.

Des protéines de tyrannosaure

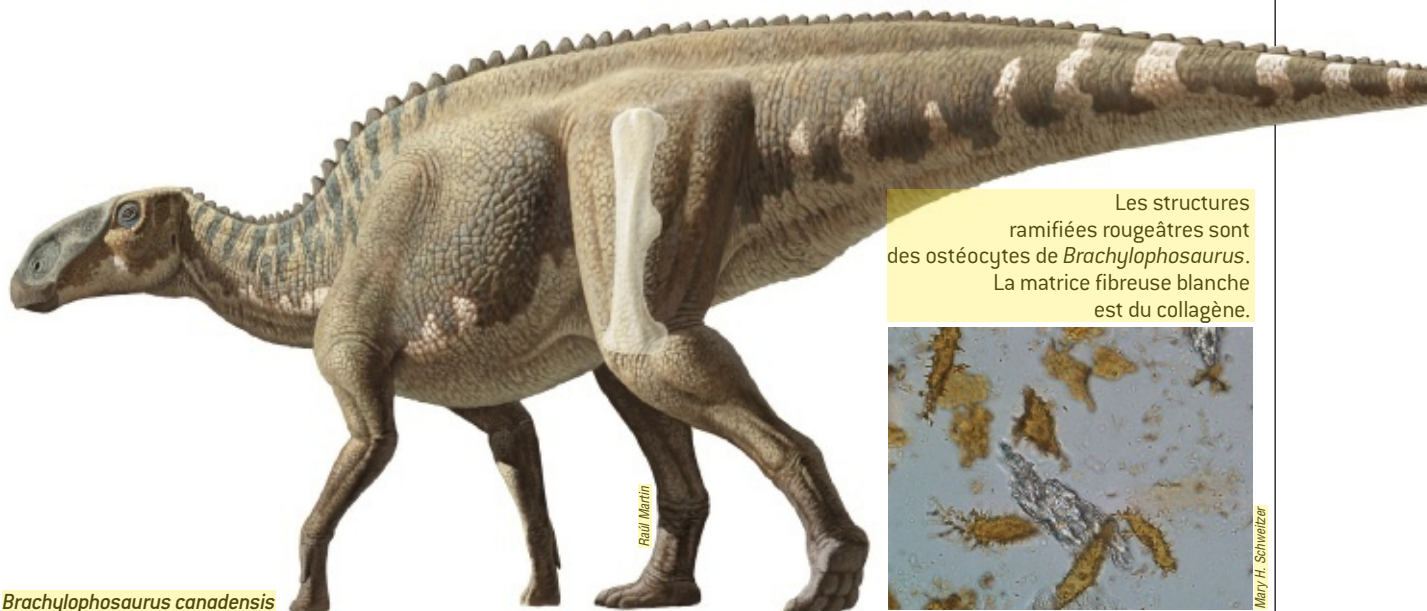
En utilisant toutes les techniques améliorées avec les fossiles précédents, j'analysai le nouvel os de tyrannosaure. Avec l'aide de J. Asara, qui avait amélioré les méthodes de purification et de séquençage mises en œuvre dans notre étude des os de mammoth, nous voulions séquencer des protéines de dinosaure, beaucoup plus anciennes.

L'exercice était bien plus difficile, la concentration de matériaux organiques dans les restes de dinosaure étant inférieure de plusieurs ordres de grandeur à la concentration dans ceux de mam-

LA « DISSECTION » D'UN DINOSAURE À BEC DE CANARD

En 2007, des chercheurs découvrent un fémur bien conservé de dinosaure à tête de canard (*Brachylophosaurus canadensis*) dans l'Est du Montana, aux États-Unis. Son étude au microscope révèle que ce fémur contient des structures ressemblant à des ostéocytes (cellules osseuses) ; ces structures étaient incluses dans une matrice de matériau blanc et fibreux, qui ressemble à du collagène (voir la micrographie). Des analyses ultérieures ont confirmé la présence de tissus mous et réfuté l'hypothèse que ces structures pourraient être dues à des

bactéries. En particulier, des extraits de cet os de dinosaure réagissent avec les anticorps qui ciblent le collagène ainsi que d'autres protéines non fabriquées par les bactéries. Comme on pouvait s'y attendre si le fémur de dinosaure à bec de canard contenait effectivement des protéines de dinosaure, la spectrométrie de masse a révélé des séquences d'acides aminés très proches de celles des protéines d'oiseaux modernes, lesquels sont des descendants des dinosaures, et différentes de celles provenant de bactéries.



Les structures ramifiées rougeâtres sont des ostéocytes de *Brachylophosaurus*. La matrice fibreuse blanche est du collagène.

Brachylophosaurus canadensis

mouth et les protéines étant très dégradées. Mais nous avons finalement réussi à les séquencer.

Notre collègue Chris Organ, de l'Université Harvard, a alors comparé nos séquences de tyrannosaure à celles d'une multitude d'autres organismes, et il est apparu que nos séquences pouvaient être groupées avec celles des oiseaux et, dans une moindre mesure, avec celles des crocodiliens. Or ces deux groupes actuels sont les plus proches parents des dinosaures.

Les articles détaillant nos travaux de séquençage, publiés en 2007 et 2008, entraînèrent controverse sur controverse. La plupart des critiques portaient sur notre interprétation des données de séquençage par spectrométrie de masse. Certains contradicteurs alléguaient que nous n'avions pas déterminé assez de séquences pour prouver notre hypothèse; d'autres que les structures que nous avons interprétées comme des tissus mous primitifs étaient en fait des biofilms – des dépôts créés par les micro-organismes ayant envahi l'os fossilisé; et ainsi de suite.

Il est clair que les chercheurs sont payés pour être sceptiques et doivent examiner avec rigueur les affirmations remarquables. Mais ils doivent aussi appliquer le principe d'économie, c'est-à-dire préférer l'explication la plus simple compatible avec toutes les données fournies. Or nous fournissions de multiples faisceaux d'indices allant tous dans le sens de notre hypothèse...

Encore un bon fossile

Je savais qu'une seule et unique découverte surprenante n'a pas de signification scientifique à long terme. Il nous fallait séquencer les protéines provenant d'autres dinosaures. Un bénévole qui nous accompagnait lors d'une expédition d'été découvrit un spécimen de dinosaure à bec de canard (*Brachylophosaurus canadensis*), un herbivore d'il y a quelque 80 millions d'années. Nous avons fait tout notre possible pour le libérer rapidement de sa gangue de grès tout en minimisant son exposition à l'air libre. Les polluants atmosphériques, les fluctuations de l'humidité et autres influences externes sont très nocifs pour des molécules fragiles, et plus l'os est exposé, plus il y a contamination et dégradation.

C'est peut-être grâce à ces précautions et à la rapidité des analyses que la chimie

et la morphologie de ce second dinosaure se sont révélées moins altérées que celles de MOR 1125. Comme nous l'avions espéré, nous avons trouvé dans l'os de cet animal des cellules incluses dans une matrice de fibres blanches de collagène. Ces cellules présentaient les longues extensions fines et ramifiées caractéristiques des ostéocytes, que nous pouvions suivre du corps cellulaire jusqu'à l'endroit où elles se lient à d'autres cellules. Quelques-unes d'entre elles semblaient contenir des structures internes, des noyaux cellulaires peut-être.

En outre, les extraits de l'os du dinosaure à bec de canard réagissaient avec les anticorps qui ciblent le collagène et d'autres protéines que les bactéries ne fabriquent pas; cette constatation infirmait la thèse suivant laquelle la couche

LES SÉQUENCES DE PROTÉINES OBTENUES à partir de l'os du dinosaure à bec de canard ressemblent beaucoup à celles d'oiseaux actuels.

blanche ne serait qu'un biofilm. Par ailleurs, tout comme celles de MOR 1125, les séquences de protéines obtenues ressemblaient étroitement à celles d'oiseaux actuels. Nous avons aussi envoyé des échantillons de cet os de dinosaure à plusieurs laboratoires pour qu'ils procèdent à des analyses indépendantes. Toutes ont confirmé nos résultats. Après la publication de ces découvertes dans la revue *Science*, en 2009, je n'ai plus entendu de contestations.

Toutefois, il reste beaucoup à comprendre sur les tissus mous anciens. Pourquoi ont-ils subsisté alors que, selon tous les modèles, ils devraient être dégradés? Qu'ignorons-nous sur les processus de fossilisation? Que nous apprennent ces fragments résiduels de molécules sur les animaux? Les travaux de séquençage suggèrent qu'après constitution de bibliothèques de séquences anciennes et modernes, nous pourrions en déduire des informations sur les liens de parenté entre espèces éteintes. Avec le développement de ces bases de données, nous pourrions comparer des séquences pour étudier l'évolution moléculaire d'une lignée et mesurer la vitesse de cette évolution. Autant de contributions possibles à la résolution des énigmes posées par les dinosaures, à commencer par celle de leur disparition...

L'AUTEUR



Mary SCHWEITZER est maître de conférences au Département des sciences marines, terrestres et atmosphériques de l'Université de Caroline du Nord, aux États-Unis, et conservatrice adjointe du Muséum d'histoire naturelle de l'État de Caroline du Nord.

✓ BIBLIOGRAPHIE

M. H. Schweitzer *et al.*, Biomolecular characterization and protein sequences of the Campanian hadrosaur *B. canadensis*, *Science*, vol. 324, pp. 626-631, 2009.

Th. Kaye *et al.*, Dinosaurian soft tissues interpreted as bacterial biofilms, *PLoS One*, vol. 3, n° 7, 2008.

J. Asara *et al.*, Protein sequences from *Mastodon* and *Tyrannosaurus rex* revealed by mass spectrometry, *Science*, vol. 316, pp. 280-285, 2007.

M. H. Schweitzer *et al.*, Beta-keratin specific immunological reactivity in feather-like structures of the Cretaceous *Alvarezsaurid*, *Shuvuuia deserti*, *Journal of Experimental Zoology*, vol. 285, pp. 146-157, 1999.

M. H. Schweitzer *et al.*, Preservation of biomolecules in cancellous bone of *Tyrannosaurus rex*, *Journal of Vertebrate Paleontology*, vol. 17, n° 2, pp. 349-359, 1997.