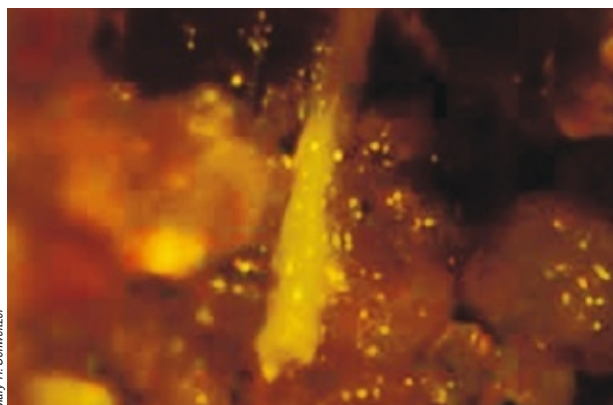


Les chercheurs ont retrouvé des tissus mous dans nombre de fossiles vieux de plusieurs dizaines de millions d'années.



L'os d'un doigt de *Rahonavis ostromi*, oiseau qui vécut il y a environ 70 à 80 millions d'années à Madagascar, est recouvert par de la substance blanche. Cette dernière semble être le résidu d'une enveloppe protéique qui recouvrait les griffes de cet animal.



Ce filament creux (au centre) a l'apparence d'une fibre de plume ; il appartenait à *Shuvuuia deserti*, un petit dinosaure carnivore qui peuplait la Mongolie, il y a 70 millions à 83 millions d'années.

nous sommes restés très prudents en publiant nos conclusions en 1997 ; nous nous sommes contenté d'affirmer qu'une substance proche de l'hémoglobine semblait avoir été préservée malgré la fossilisation, et que son origine probable était à chercher au sein des cellules du dinosaure. Notre article n'a eu qu'un très faible écho.

Ces travaux sur l'os de tyrannosaure m'ont fait prendre conscience du potentiel scientifique des restes fossilisés de tissus organiques. Si l'on pouvait récupérer des protéines, nous pourrions remonter à la séquence des acides aminés qui les constituent, tout comme les généticiens séquencent les « lettres » qui forment l'ADN. À l'instar de celles d'ADN, les séquences des protéines contiennent des informations sur les relations de parenté entre espèces, sur l'évolution des espèces et sur la façon dont l'acquisition de nouvelles caractéristiques aurait conféré des avantages aux animaux concernés.

Mais avant d'explorer ces possibilités, il fallait établir que des protéines anciennes avaient persisté dans des fossiles autres que celui de l'exceptionnelle femelle de tyrannosaure que nous avons étudiée. Mark Marshall, Seth Pincus, John Watt et moi nous sommes alors concentrés sur deux fossiles bien conservés qui semblaient prometteurs.

Le premier de ces fossiles était *Rahonavis*, un bel oiseau primitif datant de la fin du Crétacé (il y a 80 à 70 millions d'années) exhumé à Madagascar. Lors de sa mise

au jour, ses découvreurs avaient remarqué la présence, sur les os des doigts, d'un matériau fibreux et blanc. Aucun autre os sur le site ne portait de traces de cette substance, par ailleurs absente dans les sédiments de l'endroit. C'est pourquoi les paléontologues qui fouillaient se sont demandé si cette substance blanche pouvait être apparentée à l'enveloppe dure de kératine qui recouvre les os des doigts des oiseaux actuels et forme leurs griffes. Ils m'ont alors demandé de l'aide.

Kératine de griffes et de plumes

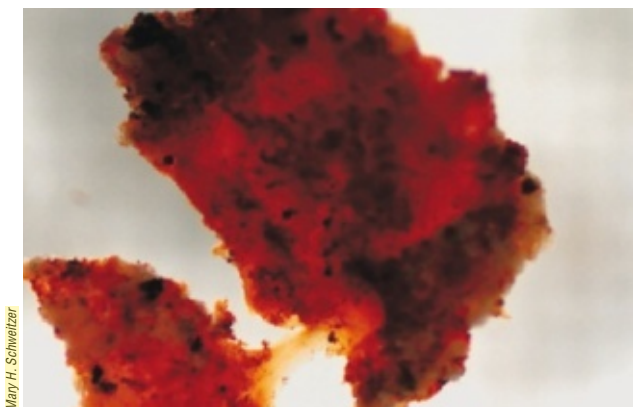
Les kératines pourraient être conservées très longtemps : elles sont abondantes chez les vertébrés et résistent bien à la dégradation. Elles se présentent sous deux formes principales : alpha et bêta. Tous les vertébrés ont de la kératine alpha qui, chez les humains, constitue les cheveux et les ongles et permet à la peau de résister à l'abrasion et à la déshydratation. Quant à la kératine bêta, elle est absente chez les mammifères et n'apparaît, dans les organismes actuels, que chez les oiseaux et les reptiles.

Pour tester la présence de kératine dans le matériau blanc découvert sur les os des doigts de *Rahonavis*, nous avons employé bon nombre des techniques utilisées pour étudier l'os de tyrannosaure. En particulier, les tests d'anticorps ont indiqué la présence de kératine alpha et de kératine

bêta. D'autres analyses ont permis de révéler des acides aminés localisés sur la membrane qui recouvre l'os ; on a aussi détecté de l'azote (un composant des acides aminés) qui était lié à d'autres composés, tout comme les protéines se lient les unes aux autres dans les tissus vivants, y compris dans la kératine. Tous nos tests confirmaient l'idée selon laquelle le mystérieux matériau blanc recouvrant les os des doigts de cet ancien oiseau incluait des fragments de kératine alpha et de kératine bêta et représentait en fait des restes de griffes.

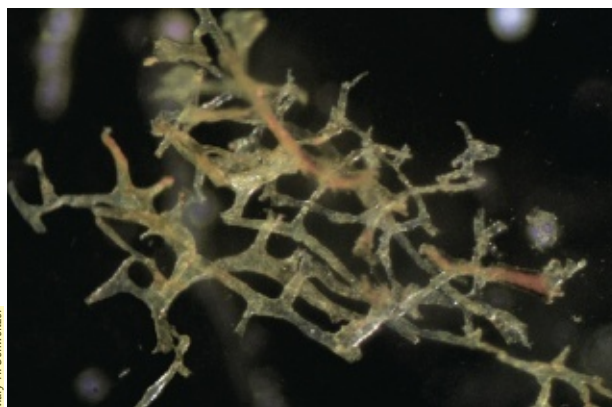
Le second spécimen que nous avons étudié était un fossile spectaculaire de la fin du Crétacé, découvert en Mongolie par des chercheurs du Muséum américain d'histoire naturelle, à New York. Bien que ses découvreurs l'aient nommé *Shuvuuia deserti*, ou « oiseau du désert », il s'agissait en fait d'un petit dinosaure carnivore.

Alors qu'elle nettoyait ce fossile, Amy Davidson, du muséum, remarqua de petites fibres blanches sur la nuque de l'animal. Elle me demanda s'il pouvait s'agir de restes de plumes. Les oiseaux descendent de dinosaures, qui ont eu des plumes bien avant eux. L'idée que *Shuvuuia* possédait un revêtement duveteux était donc plausible. Cependant, je ne m'attendais pas à ce qu'une structure aussi fragile qu'une plume puisse avoir résisté si longtemps. Je me disais que les fibres blanches provenaient plutôt de plantes modernes ou de champignons ; mais j'acceptai d'y regarder de plus près.



Mary H. Schweitzer

De l'os médullaire a été trouvé dans un os vieux de 68 millions d'années provenant d'un tyrannosaure exhumé dans le Montana. Ce type de tissu est formé pendant une durée limitée par les femelles d'oiseaux sur le point de pondre.



Mary H. Schweitzer

Des vaisseaux sanguins, ou du moins des structures qui leur ressemblent fortement, sont apparus après dissolution des minéraux d'un morceau d'os cortical (de l'os compact) appartenant à l'un des tyrannosaures du Montana.

À ma grande surprise, les tests initiaux ont exclu les plantes et les champignons. En outre, des analyses ultérieures de la microstructure de ces étranges brins blancs ont indiqué la présence de kératine. Les plumes «adultes» des oiseaux actuels sont constituées presque exclusivement de kératine bêta.

Si les petites fibres découvertes sur *Shuvuuia* étaient apparentées à des plumes, elles devaient donc renfermer uniquement de la kératine bêta, contrairement à l'enveloppe des griffes de *Rahonavis*, qui contenait à la fois de la kératine alpha et de la kératine bêta. De fait, c'est exactement ce que nous avons trouvé lorsque nous avons réalisé nos tests d'anticorps.

J'étais désormais convaincue que de petits restes de protéines anciennes pouvaient perdurer dans des fossiles extrêmement bien conservés et que nous avions les outils pour les identifier. Mais de nombreux chercheurs restaient sceptiques. Nos découvertes allaient à l'encontre de tout ce que l'on pensait savoir sur la décomposition des cellules et des molécules organiques.

Des études en laboratoire suggéraient que les protéines ne devaient pas résister plus d'un million d'années environ; l'ADN durait encore moins. Des chercheurs travaillant sur de l'ADN ancien avaient déjà annoncé qu'ils avaient découvert de l'ADN vieux de plusieurs millions d'années, mais les travaux ultérieurs n'ont pas confirmé ces résultats. Les seuls résultats bien admis

pour des molécules très anciennes donnaient des âges ne dépassant pas quelques dizaines de milliers d'années.

Face au scepticisme que suscitaient mes travaux, un collègue me conseilla de prendre du recul et de démontrer l'efficacité de nos méthodes en identifiant des protéines dans des os très anciens, mais pas aussi vieux que notre os de dinosaure.

En collaboration avec le chimiste John Asara, de l'Université Harvard, j'obtins des protéines provenant de fossiles de mammoths dont l'âge était estimé entre 300 000 et 600 000 ans. Leur séquençage par spectroscopie de masse a révélé qu'il s'agissait de collagène, l'un des principaux composants des os, des tendons, de la peau et d'autres tissus. La publication de ces résultats, en 2002, passa assez inaperçue.

Une femelle qui était prête à pondre

L'année suivante, une équipe du Muséum des Rocheuses achevait d'exhumer le squelette du plus vieux tyrannosaure trouvé à ce jour : un animal mort il y a 68 millions d'années. MOR 1125, tel est son nom, provient de la formation rocheuse du « ruisseau de l'enfer » (*Hell Creek*) dans l'Est du Montana.

Ce site est si isolé qu'il a fallu un hélicoptère pour transporter au camp de base les blocs de plâtre contenant les os mis au jour. Le bloc contenant les os des membres se révéla si lourd que l'hélicoptère

ne pouvait le soulever... L'équipe dut alors le diviser en plusieurs blocs, ce qui produisit de nombreux fragments d'os, que l'on recueillit à mon attention. Comme mes premières études sur un tyrannosaure étaient mises en doute, j'étais impatiente de les répéter sur un second spécimen...

Dès que je retirai le premier fragment de la boîte, un fragment de fémur, je sus qu'il y avait quelque chose de particulier : la surface interne de ce fragment était bordée d'une fine couche de matière osseuse absente des précédents fossiles de dinosaures. Cette couche était très fibreuse, remplie de canaux de vaisseaux sanguins, et différait par sa couleur et sa texture de l'os cortical qui constitue la plus grande partie de la masse osseuse d'un squelette. «C'est une femelle, et elle porte un petit», m'exclamai-je devant mon assistante médusée, Jennifer Wittmeyer.

Connaissant bien la physiologie des oiseaux, j'étais presque sûre que cette structure caractéristique était de l'os médullaire, un tissu particulier qui n'apparaît que pendant une durée limitée (souvent deux semaines seulement), quand les oiseaux sont sur le point de pondre ; son rôle est de fournir du calcium afin de renforcer la coquille des œufs.

L'os médullaire se distingue des autres types d'os par l'orientation aléatoire de ses fibres de collagène, due à sa formation très rapide. Cette croissance anarchique rapide se produit aussi pendant la cicatrisation d'une fracture, ce qui explique