

> organique, probablement de la mélanine. Toutefois, nous avions l'intention de reconstituer tout le motif de son plumage – une tâche beaucoup plus ambitieuse qu'établir simplement la présence ou l'absence de mélanosomes. Nous ne pouvions donc pas nous contenter d'étudier ces taches. Il nous fallait mettre au point une façon de prédire les couleurs à partir de la forme des mélanosomes. Pour ce faire, nous avons étudié les mélanosomes de 12 plumes noires, de 12 plumes brunes et de 12 plumes grises d'oiseaux d'aujourd'hui. Nous avons pris en compte le rapport longueur/largeur et l'aspect des mélanosomes, ainsi que la variabilité de leur forme, afin de prédire la couleur de la plume. Grâce à une méthode statistique, l'«analyse discriminante quadratique», nous avons obtenu des prédictions ayant une probabilité de 90 % d'être justes.

ANCHIORNIS : UNE CRÊTE ROUGEÂTRE

Dans le cas d'*Anchiornis*, cette approche a produit des résultats frappants. Nos calculs statistiques suggèrent que la plupart des plumes couvrant le corps de cet animal étaient grises. En revanche, les longues plumes couvrant ses bras et ses pattes n'étaient pas colorées par des mélanosomes sauf aux extrémités, où leur dense présence produisait une couleur noire (comme les extrémités des ailes de nombreux oiseaux modernes). La mélanine ne fait pas que colorer les plumes : elle les renforce mécaniquement aussi, ce dont *Anchiornis* bénéficiait sans doute aussi. De façon très surprenante, les plumes du haut de sa tête contenaient des empreintes de mélanosomes globulaires, de sorte qu'*Anchiornis* devait avoir une crête rougeâtre. Ce dinosaure devait avoir fière allure !

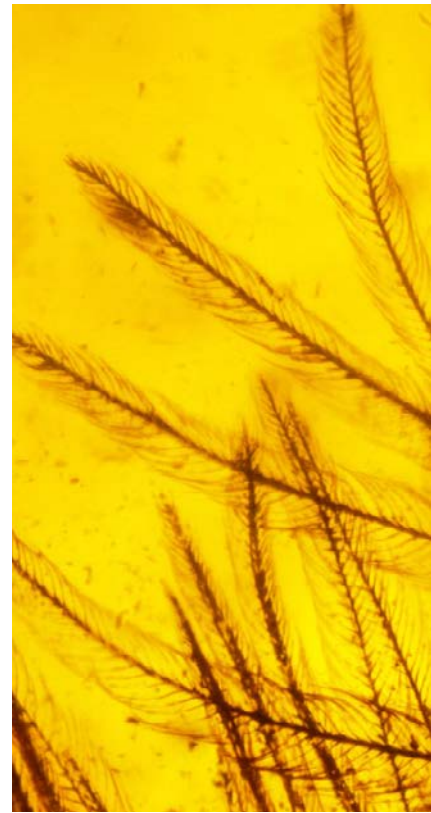
À peu près à la même époque où nous avons publié notre étude sur *Anchiornis*, Fucheng Zhang, de l'Institut de paléontologie des vertébrés de l'Académie chinoise des sciences, Michael Benton, de l'université de Bristol, et leurs collègues ont annoncé la découverte de mélanosomes dans toute une série d'oiseaux et de dinosaures fossilisés dans des roches chinoises datant de 130 millions d'années. La répartition des mélanosomes globulaires chez *Sinosauropteryx*, un dinosaure couvert de duvet, impliquait que ce dernier arborait une robe rousse et une queue striée comme celles d'un tigre. Le premier dinosaure roux connu !

Depuis cette époque pionnière, nos données se sont multipliées jusqu'à comprendre aujourd'hui des centaines d'échantillons. Certains d'entre eux nous permettent d'affirmer avec certitude la présence d'iridescence, c'est-à-dire des reflets métalliques comme ceux qui caractérisent par exemple les plumages des colibris et des paons. Les mélanosomes responsables de cet effet ont tendance à être plus

longs que les mélanosomes typiques et peuvent être creux ou aplatis. L'iridescence résulte d'empilements particuliers des mélanosomes, lesquels diffractent la lumière de diverses façons, ce qui produit différentes couleurs suivant l'angle de vue ou l'éclairage.

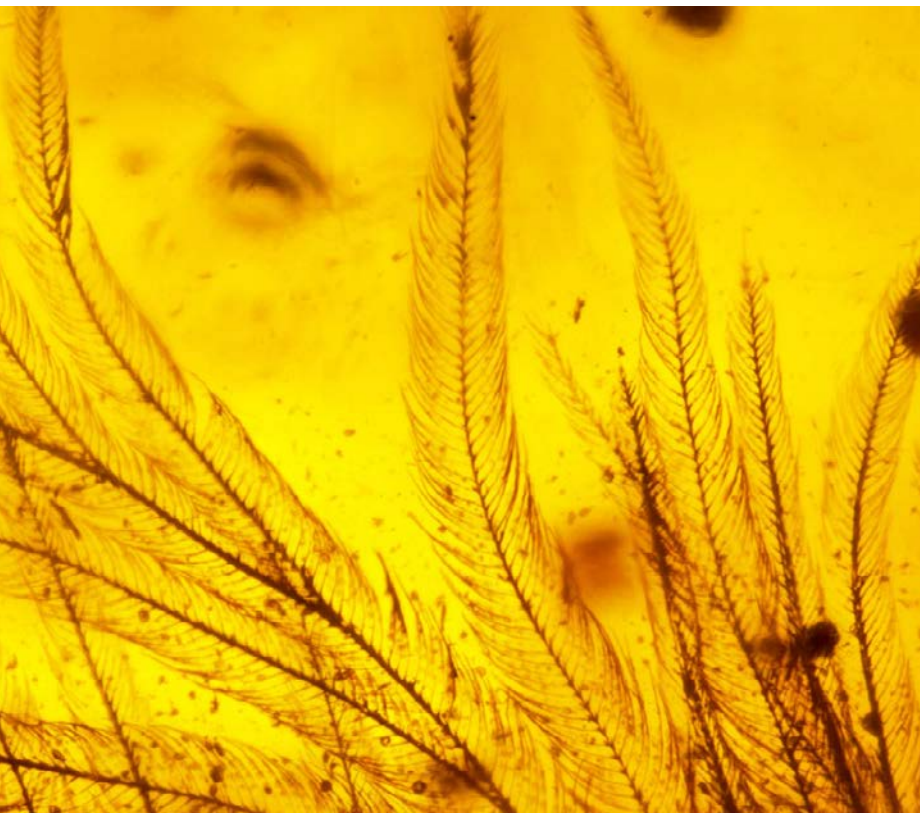
En 2009, nous avons trouvé des preuves de cette iridescence dans une plume fossile, datant de 49 millions d'années, mise au jour dans la carrière de Messel, en Allemagne. Ce fossile conservé au Muséum Senckenberg, à Francfort, présente une iridescence encore perceptible, car il a conservé la disposition initiale des mélanosomes. Ces derniers sont disposés en une couche dense et lisse se trouvant dans les fines entretoises de la plume, c'est-à-dire les barbuies. Ils ne sont présents que sur le bord le plus externe de la plume et sur le dessus, c'est-à-dire seulement sur les parties non recouvertes par les autres plumes. La disposition des mélanosomes produit ce que l'on nomme en optique une couche mince, structure qui crée des interférences, donc une iridescence (une mince couche d'huile flottant sur l'eau produit le même effet). Nous en avons déduit que les extrémités des plumes étaient iridescentes.

Il n'a pas fallu longtemps pour que nous découvriions à nouveau de l'iridescence, chez



Le motif suggéré par des traces était subtil : il comportait de fines marbrures, des points et des traits

un véritable dinosaure cette fois : *Microraptor*. De la taille d'un corbeau, ce petit prédateur avait la particularité de posséder quatre ailes, ou plutôt quatre membres en forme d'ailes. Il s'agit d'un cousin primitif de *Velociraptor*, rendu célèbre par le film *Jurassic Park*, où il est représenté avec une peau à écailles. Aujourd'hui, on sait que *Microraptor* et *Velociraptor* étaient en fait couverts de plumes. Celles de *Microraptor* contenaient de longs mélanosomes cylindriques disposés de telle façon qu'ils



PLUMES DE DINOSAURES

Celles-ci proviennent de la queue d'un petit dinosaure non avien découverte dans un bloc d'ambre birman. Elles comportaient un rachis (tige centrale), ainsi que des barbes (branches) et des barbules (rameaux) imbriquées.

diffractionnent la lumière. Son plumage devait donc être noir, mais avec le même type de reflets que celui du corbeau.

Récemment, Jennifer Peteya, de l'université d'Akron dans l'Ohio, et Matthew Shawkey ont découvert la même iridescence chez *Bohaiornis*, un oiseau de Chine du groupe des énantionithes, qui était doté d'une longue queue formée de deux plumes.

DU PLUMAGE AU COMPORTEMENT

Les pigments fossiles ont aussi l'intérêt de révéler des facettes auparavant inconnues de la vie quotidienne des dinosaures et d'autres animaux disparus depuis longtemps. En raison de la très grande taille de ses orbites, les paléontologues pensaient par exemple que *Microraptor* était nocturne. La découverte de son plumage iridescent suggère qu'il était en fait diurne, car ce type de coloration se rencontre aujourd'hui généralement chez des espèces actives durant la journée. Quant aux couleurs vives d'*Anchiornis*, elles permettaient probablement d'attirer un partenaire ou jouaient un rôle dans la parade nuptiale, comme les ramages parfois si criards des oiseaux modernes. La restitution des plumages de dinosaures pourrait ainsi nous fournir les moyens de tester nos hypothèses sur leurs comportements.

Les mélanosomes fossiles peuvent aussi nous aider à préciser dans quel type d'environnement une forme de vie disparue vivait. Nous

avons mené notre premier essai en ce sens grâce à un splendide fossile de *Psittacosaurus*, un petit dinosaure végétarien apparenté au célèbre *Triceratops*. Assez fréquents dans le nord-est de la Chine, les squelettes de cette espèce sont souvent très complets. Le spécimen que nous avons étudié sort du lot cependant, puisqu'il est entouré d'un mince film : les vestiges d'une peau et de délicates écailles. Sa queue présente de longues soies filamenteuses, qui pourraient être des précurseurs de plumes. Toutes les découvertes précédentes de plumes concernaient des dinosaures principalement carnivores – des théropodes. *Psittacosaurus* appartient, lui, à un groupe de dinosaures herbivores : les cératopsiens. C'est peut-être un indice que le plumage était bien plus répandu chez les dinosaures qu'on ne le pensait.

Lors de ma première observation de ce spécimen en 2009, soit un an après l'annonce de la découverte de mélanosomes dans des oiseaux fossiles, j'ai vu d'emblée des indices de la présence d'un magnifique motif coloré sur tout le corps. Il était subtil, puisqu'il comportait de fines marbrures, des points et des traits. J'ai aussi pu constater que l'animal avait le dos sombre et le ventre pâle. L'opposition de ton entre le dos et le ventre contrebalance l'ombre créée sur l'animal par l'éclairage ambiant, ce qui a pour effet de le rendre moins visible dans le paysage. Nommée contre-illumination, cette forme de camouflage se rencontre aujourd'hui chez de nombreux animaux, depuis les dauphins jusqu'aux cerfs en passant par les antilopes et les requins.

Quand j'ai montré le motif de la robe de *Psittacosaurus* à Innes Cuthill, dont l'équipe étudie le camouflage animal à l'université de Bristol, nous avons compris qu'il y avait là l'occasion d'étudier la contre-illumination chez un dinosaure et d'en déduire le type de milieu où il vivait.

Pour reconstituer l'habitat d'un animal, les chercheurs réunissent généralement des indices fournis par les fossiles d'autres animaux et de végétaux découverts à proximité. Ce type d'approche est problématique, car, souvent, le milieu où un fossile est découvert ne correspond pas à celui où l'organisme vivait. Le psittacosure chinois, par exemple, a été retrouvé dans les sédiments d'un ancien lac, alors que ce dinosaure ne semble pas avoir été aquatique.

Récemment, Innes Cuthill et ses collaborateurs ont étudié la contre-illumination chez les ongulés actuels (chevaux, antilopes, chameaux, sangliers, rhinocéros...). Le camouflage par contre-illumination implique une coloration plus sombre sur le haut du corps que sur le bas, mais le contraste des deux tons et la nature de la transition diffèrent d'une espèce à l'autre. L'équipe d'Innes Cuthill a étudié la contre-illumination chez les ongulés pour ➤