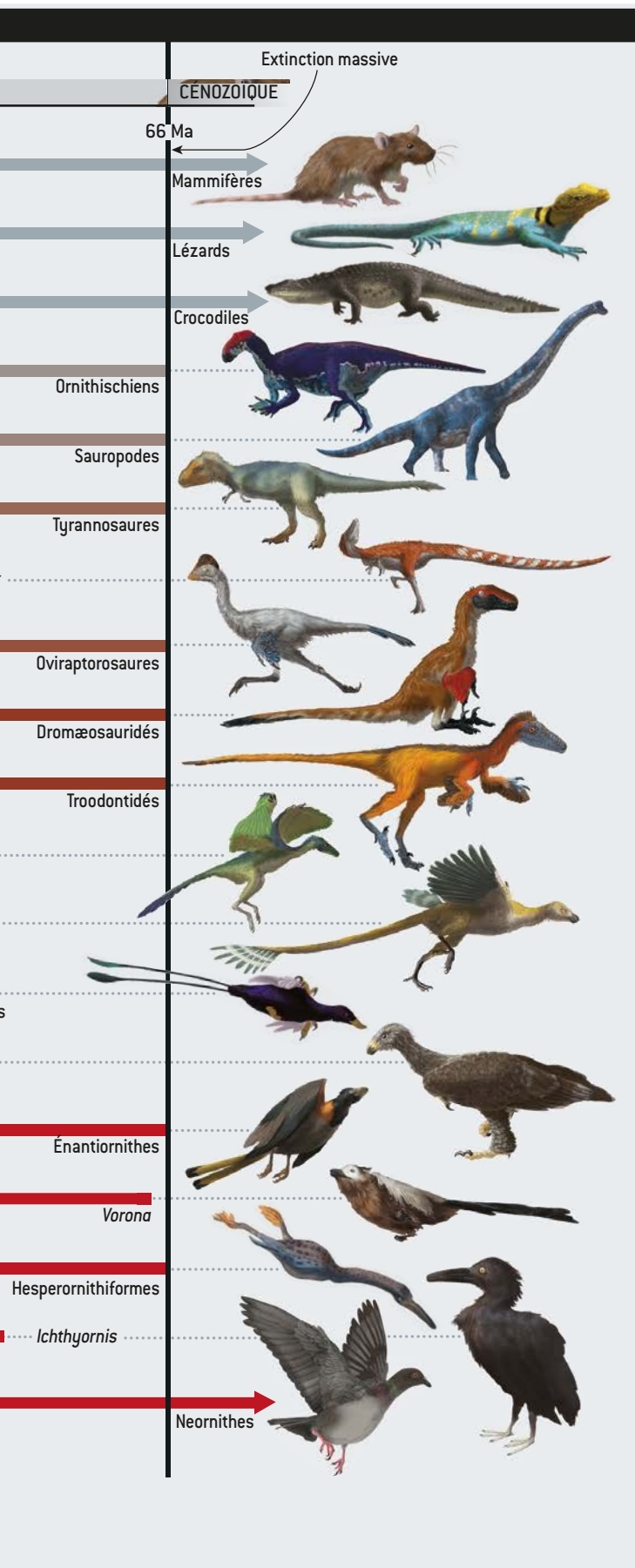




meilleur des aperçus sur l'une des plus remarquables transitions évolutives de l'histoire de la vie. Pour étudier ces fossiles, les chercheurs commencent par en réaliser des images tridimensionnelles par tomographie à rayons X (ou scanner 3D). Ils se livrent ensuite à de savantes analyses informatiques afin de les placer dans des arbres de parenté. Des programmes de simulation permettent aussi de reconstituer leur biomécanique. Et des techniques statistiques élaborées aident à retracer l'apparition au cours de l'évolution de nouveaux traits ou de nouvelles espèces. C'est ainsi que nous sommes parvenus à établir par quelle trajectoire évolutive certains dinosaures se sont transformés en oiseaux.

Ces productions cornées de la peau que sont les plumes

Au centre de l'énigme de l'apparition des oiseaux figure la question de l'origine de ces productions cornées de la peau que sont les plumes. Celles-ci sont aux oiseaux ce que les cheveux gominés et les rouflaquettes étaient à Elvis Presley : un signe distinctif incontournable ! Au premier coup d'œil sur les longues rémiges d'un aigle ou sur la queue bariolée d'un paon, nous savons qu'il s'agit d'un oiseau. En effet, les oiseaux sont les seuls animaux dotés de plumes. Des attributs loin d'être anodins : ce sont des outils polyvalents qui rendent le vol possible, aident à séduire une femelle ou à intimider un rival, retiennent la chaleur corporelle, isolent et protègent les œufs pendant la couvaison... Les plumes ont tellement d'usages qu'il a été difficile de comprendre quelle a été leur première fonction sélectionnée par l'évolution.

Grâce à *Sinosauropteryx* et aux autres fossiles du Liaoning, nous sommes en tout cas certains d'une chose : les plumes ne sont pas subitement apparues avec les premiers oiseaux, mais beaucoup plus tôt, chez leurs lointains ancêtres dinosauriens. Il est même possible que l'ancêtre commun de tous les dinosaures ait eu quelque sorte de plumes. Mais les toutes premières plumes différaient beaucoup des plumes qui nous sont familières chez les oiseaux modernes. Le plumage de *Sinosauropteryx* et de nombreux autres dinosaures ressemblait plutôt à un duvet constitué de milliers de filaments comparables à des poils. Les dinosaures équipés d'un tel plumage ne pouvaient absolument pas voler : leurs plumes ne s'y prêtaient pas et ils n'avaient même pas d'ailes. Ces premières plumes ont été sélectionnées parce qu'elles apportaient probablement un autre avantage adaptatif : l'isolation thermique.

Chez la plupart des dinosaures, un revêtement de téguments duveteux suffisait. Au sein du clade des théropodes maniraptorien, un nouveau type de couverture corporelle s'est peu à peu développé : les filaments se sont d'abord allongés, puis se sont ramifiés – initialement en touffes, puis de façon de plus en plus ordonnée – de part et d'autre d'une tige centrale. Une fois les barbes complétées de barbules selon un réseau plan et régulier, la plume, c'est-à-dire la « plume d'oiseau » que nous avons tous en tête, était née. Alignées et disposées en couches sur les bras, ces plumes plus complexes ont fini par former des ailes. De la taille d'un corbeau, le dinosaure *Microraptor* du Liaoning décrit en 2003 par Xu Xing, de l'Institut de paléontologie des vertébrés et de paléoanthropologie de Pékin, avait aussi des « ailes » sur ses pattes et sa queue, un plan d'organisation inconnu chez tous les oiseaux modernes (voir l'illustration page 60).

Pourquoi du duvet s'est-il transformé en plumes structurées ? La première idée qui se présente à l'esprit est que le corps des

© Illustrations par Porfirio Soto Rollings (animaux) et Jan Christensen (diagramme)

maniraptorien serait devenu apte à planer, et la portance associée à leurs membres aurait favorisé le développement des ailes.

Cependant, l'étude attentive du registre fossile suggère une autre trajectoire évolutive. Il semble que plusieurs petits animaux ailés, tel *Microraptor*, étaient capables de planer, comme le suggèrent les expériences en soufflerie et les simulations de Gareth Dyke de l'université de Debrecen en Hongrie. Mais d'autres, tels que *Zhenyuanlong*, avaient un corps lourd doté de petits bras, et étaient incapables de décoller. En outre, aucun de ces dinosaures ailés n'était équipé des énormes muscles pectoraux nécessaires au vol. Et peu d'entre eux avaient des plumes asymétriques dotées d'un bord d'attaque (celui où le flux d'air aborde la plume) et d'un bord de fuite (le flux d'air y quitte la plume), capables de résister aux intenses forces aérodynamiques engendrées par le vol.

Les recherches récentes suggèrent que les ailes ont d'abord été des attributs sexuels. Ainsi, Jakob Winter, de l'université de Bristol en Angleterre, a réussi à identifier au microscope les structures porteuses de pigments, les « mélanosomes », dans les plumes fossiles. On a ainsi montré que le plumage des dinosaures non aviens (ne volant pas) présentait tout un spectre de couleurs. Certaines des plumes étaient même iridescentes, c'est-à-dire qu'elles changeaient de couleur selon l'angle d'observation, comme c'est le cas chez de nombreux oiseaux actuels. De tels habits de parade devaient être précieux pour séduire une partenaire potentielle.

La splendeur manifeste de ces plumes de dinosaures a donc suggéré une nouvelle hypothèse quant à l'origine des ailes : elles auraient été initialement sélectionnées parce qu'elles constituaient un message coloré bien visible. Peu à peu, certains dinosaures à plumes se seraient ensuite retrouvés avec des surfaces suffisamment étendues pour créer de la portance aérodynamique.

Le vol serait apparu fortuitement

En d'autres termes, la capacité de planer, puis de voler, serait apparue fortuitement. Un événement qui a très bien pu se produire à plusieurs reprises et parallèlement, quand des maniraptorien de lignées différentes se sont mis à exploiter la portance qu'engendraient leurs bras ailés pour bondir et se percher en hauteur, pour sauter d'une branche à l'autre, voire pour s'élancer du haut d'un arbre. Finalement, des membres d'une de ces lignées ont acquis des traits adaptés au vol : une plus petite taille, des bras très allongés, de puissants muscles pectoraux, une large queue de plumes qui a remplacé leur longue queue. Ce sont eux qui ont donné les oiseaux actuels.

Les plumes et les ailes s'inscrivent dans un cadre bien plus vaste que celui de l'évolution du vol. Les dinosaures si bien conservés du Liaoning montrent que de nombreuses caractéristiques singulières des oiseaux sont apparues des millions d'années avant les oiseaux et pour des raisons sans rapport aucun avec le vol.

Il en est ainsi des longues et minces

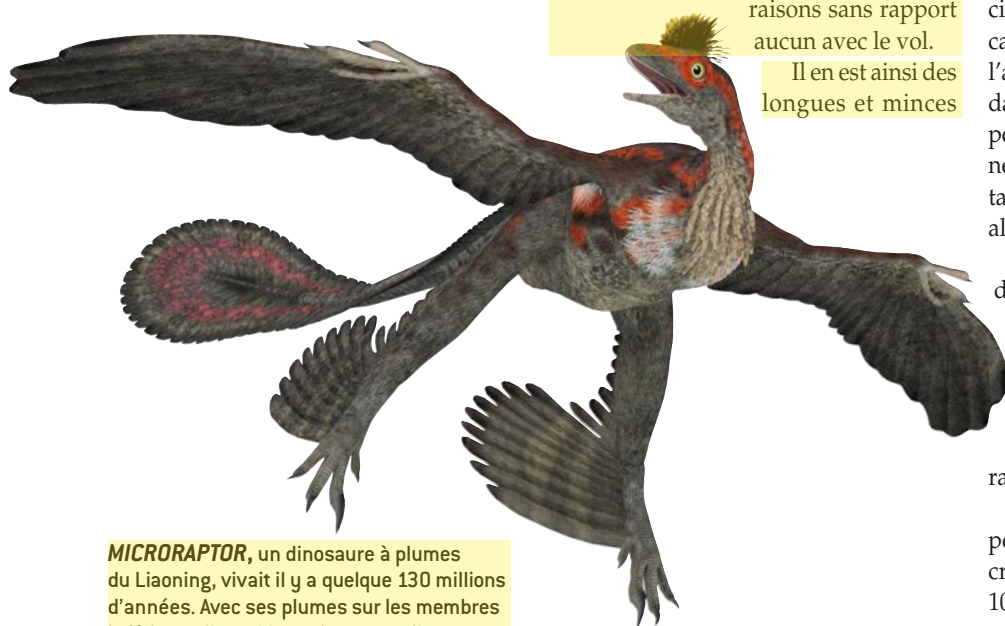
pattes se terminant par trois doigts, l'un des traits les plus caractéristiques des oiseaux actuels. Le registre fossile montre que ce trait est apparu il y a plus de 230 millions d'années chez des dinosaures très primitifs. Cette émergence semble avoir fait partie d'un remodelage général du corps de certains dinosaures, qui a transformé ces derniers en animaux bipèdes courant très vite pour distancer des prédateurs ou rattraper des proies. Cette forme des membres inférieurs fait partie des caractéristiques des dinosaures expliquant qu'ils aient pu régner aussi longtemps.

Chez certains de ces dinosaures – les tout premiers membres de la dynastie des théropodes –, les clavicules gauche et droite ont fusionné pour constituer une nouvelle structure, le bréchet. Un changement apparemment mineur, mais qui a stabilisé la ceinture scapulaire (les os qui relient les membres supérieurs à la colonne vertébrale), ce qui a permis à ces prédateurs furtifs de mieux encaisser les contre-chocs se produisant lors de la saisie des proies. Les oiseaux, leurs descendants, ont profité de la présence du bréchet, puisque celui-ci se déforme comme un ressort et stocke de l'énergie dans les battements d'ailes.

Deux autres éléments jouant un rôle important dans le vol sont la croissance rapide des oiseaux et leurs os creux. Ces traits si caractéristiques des oiseaux ont aussi une origine profondément dinosaurienne. Beaucoup de dinosaures avaient en effet des os creux où se logeaient des sacs aériens, révélateurs de poumons à circulation continue ultra-efficaces, car capables de prélever de l'oxygène dans l'air tant pendant l'inspiration que pendant l'expiration. C'est du reste ce type de poumon qui fournit aux oiseaux l'énergie nécessaire à leur mode de vie exigeant, tandis que les vides internes de leurs os allègent leur squelette pour le vol.

En étudiant la structure microscopique des os de dinosaures, nous avons appris que ces premiers théropodes avaient des vitesses de croissance et des physiologies intermédiaires entre les reptiles, à croissance lente et à sang froid, et les oiseaux d'aujourd'hui, à croissance rapide et à sang chaud.

Ainsi, on sait maintenant qu'un poumon « à ventilation continue » et une croissance rapide sont apparus plus de 100 millions d'années avant les oiseaux, à une époque où apparaissaient les premiers



MICRORAPTOR, un dinosaure à plumes du Liaoning, vivait il y a quelque 130 millions d'années. Avec ses plumes sur les membres inférieurs, il semble avoir quatre ailes.