

montrèrent que les maniraptorien *Deinonychus* et *Velociraptor*, et *Archaeopteryx* pouvaient réaliser le mouvement de flexion latérale qui produit ces tourbillons chez les oiseaux.

Nous l'avons vu, les premiers maniraptorien utilisaient probablement ce mouvement pour la capture des proies. À l'époque où apparaissent *Archaeopteryx* et d'autres oiseaux, l'angle de l'articulation de l'épaule se modifie, pointant plus vers le côté que vers le bas et vers l'arrière. Cette modification de l'angle correspond à un changement de fonction du membre antérieur, qui passe alors de la capture de proie au battement du vol. De nouveaux indices, fournis par le dinosaure *Unenlagia*, récemment découvert en Argentine, suggèrent que, chez

les maniraptorien les plus proches des oiseaux, la ceinture pectorale est déjà dirigée latéralement et permet ce type de battement.

Farish Jenkins, de l'Université Harvard, et George Goslow, de l'Université Brown, ont mis en évidence le rôle de la fourchette (issue de la fusion des clavicules) au cours du vol. Chez les oiseaux actuels, elle maintient écartés les éléments de la ceinture scapulaire, et accumule de l'énergie lors de l'abaissement des ailes. Chez les premiers oiseaux, ces os étaient certainement moins élastiques et ils devaient surtout servir de point d'ancrage pour les muscles du membre antérieur. Apparemment, le muscle essentiel pour la rotation et la levée du membre, dans la phase de relève-

ment de l'aile au cours du vol, n'a pas la même position chez *Archaeopteryx* ou d'autres oiseaux primitifs que chez les oiseaux modernes : les premiers oiseaux avaient probablement un vol maladroit, et ils ne devaient pas battre des ailes aussi rapidement ni aussi précisément que les oiseaux actuels. En quelques millions d'années, les oiseaux acquièrent toutefois les caractéristiques indispensables à un vol plus contrôlé.

Trois fois plus d'oiseaux fossiles ont été découverts depuis 1990 que dans toutes les années qui ont précédé. Ces nouveaux spécimens, trouvés en Espagne, en Chine, en Mongolie, à Madagascar et en Argentine, complètent nos connaissances sur l'évolution des oiseaux qui ont suivi

Un oiseau géant au Crétacé

Les paléontologues savent depuis longtemps que les terrains continentaux du Crétacé supérieur (de 80 à 65 millions d'années) qui affleurent dans le Sud de la France, de la Provence aux Pyrénées, contiennent des restes abondants de dinosaures. On y a découvert, sur plusieurs sites, les restes d'un oiseau gigantesque que nous avons nommé *Gargantuavis philoinos*, «l'oiseau gargantuesque amateur de vin» (le héros de Rabelais évoque sa grande taille et les sites de découverte sont situés au milieu des vignes) : un morceau de sacrum à Fox-Amphoux, dans le Var, un fémur à Villespassans, dans l'Hérault et un bassin incomplet à Campagne-sur-Aude, dans l'Aude.

Ces restes fragmentaires ne permettent pas une reconstitution détaillée de l'oiseau. Ainsi, la forme de son bec, qui donnerait des indications sur son régime alimentaire, est inconnue. Toutefois nous avons, à l'aide d'équations mises au point à partir d'animaux actuels, déduit son poids de la circonférence de son fémur : environ 140 kilogrammes. C'est le poids d'une autruche adulte, plus grand oiseau vivant aujourd'hui. Un tel oiseau était certainement trop lourd pour voler (le poids du plus grand oiseau volant connu, un rapace du Tertiaire, en Argentine, est estimé à 70 kilogrammes). L'examen du bassin confirme cette conclusion : large et massif, il ne ressemble pas à celui d'un oiseau volant. Il n'est pas non plus aussi étroit ni allongé que celui de l'autruche et de ses parents actuels, qui sont des coureurs rapides. *Gargantuavis philoinos* était vraisemblablement un oiseau lourd, marcheur, et lent.

La découverte d'un oiseau si grand dans des couches riches en dinosaures datant d'environ 70 millions d'années est une première. Jusqu'à présent, les plus anciens oiseaux géants connus dataient du début du Tertiaire, tel *Gastornis*, trouvé dès 1855 à Meudon, plus jeune que *Gargantuavis* d'environ 15 millions d'an-

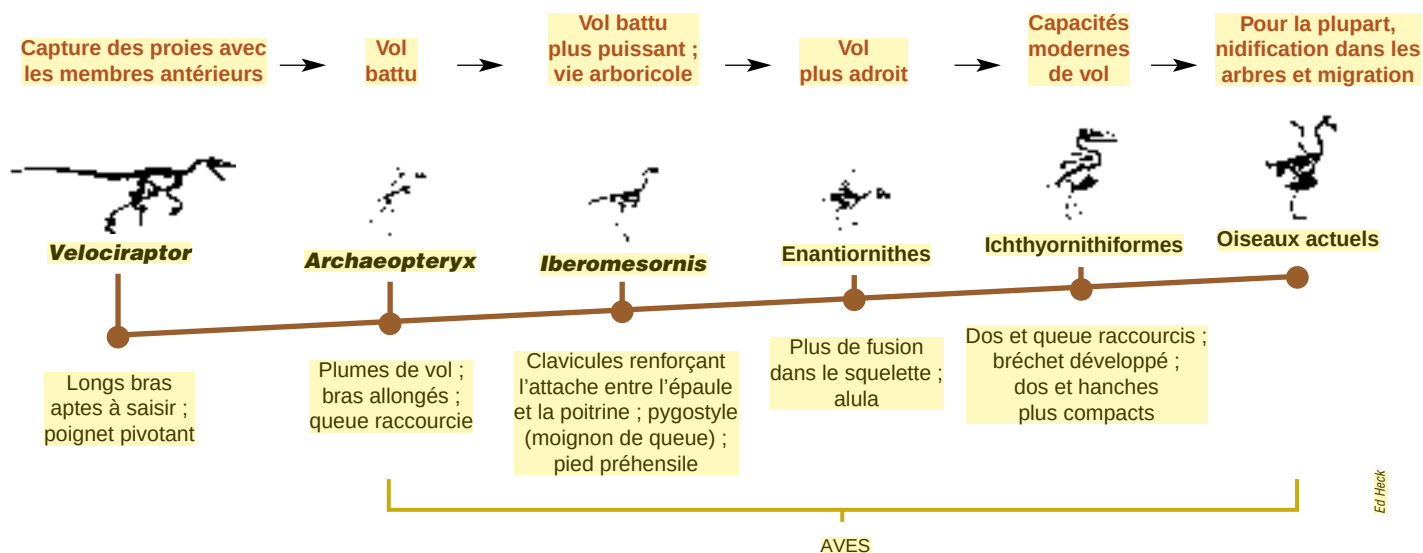
nées, et le plus grand oiseau connu du Crétacé était *Hesperornis*, oiseau marin aux ailes atrophiées, trouvé aux États-Unis, qui ne dépassait pas un mètre de haut. Les paléontologues en avaient déduit que les grands oiseaux terrestres ne s'étaient développés qu'après l'extinction des dinosaures il y a 65 millions d'années : ils auraient alors occupé des niches écologiques laissées vacantes par la disparition des grands reptiles, alors que les mammifères étaient encore de petite taille et commençaient seulement leur grande diversification évolutive. *Gargantuavis philoinos*, de la taille d'une autruche, vivait au milieu des dinosaures : la disparition de ces derniers n'était donc pas une condition *sine qua non* à l'apparition de tels oiseaux géants.

Gargantuavis n'est pas le premier oiseau du Crétacé incapable de voler à être signalé. Outre *Hesperornis* et certains autres oiseaux marins apparentés qui avaient perdu cette faculté, on connaît aussi, en Argentine, un oiseau terrestre de la taille d'un coq, nommé *Patagopteryx*, qui ne pouvait pas voler.

La découverte de *Gargantuavis philoinos* pose aussi des questions au sujet des abondants œufs fossiles connus dans le Crétacé supérieur du Sud de la France. Ces œufs ont été généralement attribués à des dinosaures, à l'exception de petites coquilles fines qui auraient été pondues par de petits oiseaux. *Gargantuavis philoinos* devait pondre de gros œufs, et sur le sol : certains des œufs fossiles découverts dans le Sud de la France lui appartiennent probablement. La classification des œufs, établie sur la microstructure de leur coquille, ne permet pas de dire lesquels : le seul moyen d'établir avec certitude par qui un œuf fossile a été pondu est de trouver à l'intérieur un embryon identifiable, ce qui ne s'est jamais produit en France.

Éric BUFFETAUT, CNRS, Paris
Jean LE LOEUFF, Musée des dinosaures, Espéraza

Évolution des capacités



Ed Heck

6. LE CLADOGRAMME DE L'ÉVOLUTION des oiseaux montre que le vol battu s'est amélioré progressivement depuis 150 millions d'années. Les oiseaux deviennent aussi assez vite arboricoles. Les

principaux caractères du squelette qui permettent ces évolutions de comportement sont indiquées sous le dessin au fur et à mesure de leur apparition.

Archaeopteryx et sur le perfectionnement de leur dispositif de vol. Les oiseaux ont rapidement présenté une variété de tailles, de formes et de comportements, de la plongée à l'incapacité de voler, et ils se sont diversifiés pendant tout le Crétacé (qui finit il y a environ 65 millions d'années).

Quand les poules avaient des dents

Imaginons une forêt du Crétacé inférieur, il y a 140 millions d'années : les premiers oiseaux, aux doigts griffus et aux becs garnis de dents, capables de se percher, passent la plus grande partie de leur temps dans les arbres. Y nichent-ils ? Chantent-ils ? Migrent-ils sur de longues distances ? N'acquiescent-ils toutes leurs plumes qu'à l'âge adulte, comme les oiseaux actuels, et grandissent-ils aussi vite ? Nous ne le savons pas.

En revanche, on sait que, tout au long du Crétacé inférieur, des caractères du squelette évoluent, favorisant le vol : des os de la main et du bassin fusionnent, augmentant la résistance du squelette ; le sternum s'élargit et une crête (le bréchet) apparaît au milieu de sa face externe, où s'ancrent les muscles du vol ; les membres antérieurs s'allongent fortement ; les os du crâne et les vertèbres deviennent plus creux et s'allègent ; les os de la queue sont réduits à une courte série de segments indépendants, finissant en un moignon qui

contrôle les plumes de la queue ; l'alula (partie de l'aile portée par le pouce et essentielle dans le contrôle du vol à faible vitesse) apparaît aussi, de même que le premier orteil allongé, utile pour se percher.

Les premiers oiseaux qui volent ont certainement un métabolisme plus actif que les reptiles à sang froid : ils maintiennent au moins par eux-mêmes la température des muscles nécessaire aux mouvements rapides du vol, et produisent l'énergie qu'ils dépensent. Les plumes assurent une isolation, comme les ébauches de plumes ont pu aider à conserver la chaleur, et donc l'énergie, chez les ancêtres des oiseaux. Les oiseaux primitifs ne volent pas aussi loin ni aussi vigoureusement que les oiseaux modernes.

Revenons dans notre forêt 50 millions d'années plus tard, à la fin du Crétacé : des représentants de lignées

d'oiseaux très primitives côtoient les premiers membres de groupes actuels. Au moins quatre des principaux groupes d'aujourd'hui (y compris les ancêtres des oiseaux de rivage, oiseaux de mer, canards et oies) sont déjà florissants plusieurs millions d'années avant la fin du Crétacé, et probablement aussi les précurseurs des autres oiseaux modernes.

La plupart des lignées d'oiseaux qui évoluent au cours du Crétacé s'éteignent pendant cette période. Sont-elles supplantées par de nouveaux groupes ? Périissent-elles dans une catastrophe écologique ? Sont-elles incapables de s'adapter aux modifications de leur environnement ? Nous ne le saurons sans doute jamais, mais nous sommes désormais certains que les dinosaures sont encore parmi nous : les oiseaux ne sont que de petits dinosaures théropodes couverts de plumes et à la queue courte.

Kevin PADIAN est conservateur au Muséum de paléontologie de l'Université de Berkeley. Luis CHIAPPE est professeur adjoint à l'Université de New York.

John H. OSTROM, *Archaeopteryx and the Origin of Birds*, in *Biological Journal of the Linnean Society* (Londres), vol. 8, n° 1, pp. 91-182, 1976.

Jacques A. GAUTHIER, *Saurischian Monophyly and the Origin of Birds*, in *Memoirs of the California Academy of Sciences*, vol. 8, pp. 1-55, 1986.

Peter WELLNHOFER, *L'archéoptéryx*, in *Pour la Science*, janvier 1990.

Luis M. CHIAPPE, *The First 85 Million Years of Avian Evolution*, in *Nature*, vol. 378, pp. 349-355, 23 novembre 1995.

The Encyclopedia of Dinosaurs (voir les entrées «Aves» et «Bird Origins»), sous la direction de Philip J. Currie et Kevin Padian, Academic Press, 1997.

Kevin PADIAN et Luis M. CHIAPPE, *The Origin and Early Evolution of Birds*, in *Biological Reviews* (à paraître).