

rues avant les oiseaux et, de toute façon, avant que les oiseaux ne commencent à voler. Quelle était leur fonction d'origine : protégeaient-elles les animaux contre le froid ? Étaient-elles déployées lors de parades ?

## Les débuts du vol

La plupart des caractéristiques qui permettent aux oiseaux de voler étaient donc présentes chez leurs ancêtres terrestres. *Archaeopteryx* n'était en outre certainement pas le premier théropode volant, même si jusqu'à maintenant on ne lui connaît pas de prédécesseur. Comment ce mode de locomotion s'est-il développé ? Et, tout d'abord, comment les ancêtres des oiseaux se sont-ils envolés ?

On a d'abord pensé que des théropodes avaient commencé à voler parce que, montant aux arbres, ils en redescendaient en planant, grâce à des ébauches de plumes. Des caractéristiques d'*Archaeopteryx* et de ses cousins maniraptorien contredisent toutefois cette hypothèse : ils étaient mal adaptés à la vie dans les arbres, n'ayant pas, par exemple, un pied qui leur permettait de se percher. Certains grimpaient peut-être aux arbres, mais on comprend mal comment *Archaeopteryx* aurait grimpé aux

arbres et volé avec ses membres antérieurs. De plus, dans l'environnement où l'on a trouvé *Archaeopteryx*, aucune plante ne s'élevait à plus de quelques mètres. Enfin, même s'il grimpait aux arbres, il n'y vivait pas nécessairement ni n'avait de compétences particulières pour le vol plané : la plupart des petits animaux grimpent aux arbres (même certaines chèvres et les kangourous), mais ils ne sont pas pour autant arboricoles.

Une autre hypothèse a été proposée : les petits dinosaures qui couraient sur le sol auraient étendu leurs bras pour maintenir leur équilibre quand ils bondissaient dans les airs à la poursuite d'un insecte ou devant un prédateur. Des plumes, même rudimentaires, auraient élargi la surface des membres, favorisant la portance ; puis l'allongement des plumes aurait augmenté la portance jusqu'à l'obtention d'un vol continu. Comme un bond ne procure pas autant d'accélération que la chute du haut d'un arbre, les animaux devaient courir assez vite pour décoller. Certains animaux terrestres atteignent de grandes vitesses.

Cette hypothèse est soutenue par le fait que les théropodes, ancêtres directs des oiseaux, vivaient sur le sol et qu'ils avaient les caractères requis

pour atteindre une grande vitesse de décollage : ils étaient petits, vifs, agiles, légèrement bâtis, et leurs longues jambes leur donnaient une course rapide. Comme ils étaient bipèdes, leurs bras étaient libres de battre l'air, ce dont les autres reptiles étaient incapables. La réalité est toutefois sans doute à mi-chemin des deux hypothèses : les ancêtres des oiseaux s'envolèrent vraisemblablement du sol et du haut de monticules accessibles, collines, gros rochers ou arbres abattus.

Le problème du type de vol est beaucoup plus important que celui du décollage. Le battement produit non seulement la portance, qu'un animal planeur obtient en déplaçant ses ailes dans l'air, mais aussi la poussée, qui permet d'avancer. Sur un avion, la portance est assurée par les ailes, et la poussée par les réacteurs ou les hélices ; chez les oiseaux et les chauves-souris, l'extrémité de l'aile produit la poussée et le reste de l'aile assure la portance.

À la fin des années 1970, Jeremy Rayner, de l'Université de Bristol, montra que le battement vers le bas et vers l'avant des oiseaux et des chauves-souris crée une série de tourbillons qui propulsent l'animal. Au milieu des années 1980, l'un d'entre nous (K. Padian) et J. Gauthier



**5. OVIRAPTOR** a été découvert assis dans son nid et protégeant ses œufs (dessin de gauche), telle une autruche actuelle (dessin de droite). La couvaison est donc apparue avant l'émergence des oiseaux. Sur le fossile qui a servi de modèle à la réalisation du dessin d'*Oviraptor* (photographie ci-dessus) la position des griffes montre que les membres entouraient les œufs (grands ovales sur la photographie) pour les protéger.

Illustrations de Ed Heck

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