

produire de l'énergie à partir des aliments ou des réserves de graisse. Les scientifiques ont découvert que la consommation d'oxygène par des blattes ayant été piquées est beaucoup plus faible que celle de leurs congénères en bonne santé. Ils pensaient initialement que ce métabolisme réduit était la conséquence de la faible mobilité des victimes. Toutefois, ils ont constaté que quand on provoque une paralysie de la blatte à l'aide de substances chimiques ou en sectionnant des neurones, l'insecte vit moins longtemps qu'une blatte envenimée par la guêpe émeraude.

La clé de cette survie prolongée semble être l'hydratation. On ne sait pas exactement comment le venin agit pour que la blatte garde son eau et reste hydratée, mais il fait en sorte que quand la larve de guêpe éclôt de son œuf, son repas soit prêt à être consommé. Cette larve commence par sucer l'hémolymph de l'insecte puis, quelques jours après, s'introduit dans l'abdomen pour le dévorer, avant de se métamorphoser en puppe. Environ un mois après, une nouvelle guêpe émerge du terrier, laissant derrière elle la carcasse de la blatte.

Le venin de la guêpe émeraude n'est qu'un exemple, poussé à l'extrême, de venin neurotoxique. On connaît plus de 130 espèces dans le genre auquel appartient la guêpe *Ampulex compressa*. Le genre *Ampulex* lui-même appartient à un groupe très vaste et très divers de guêpes, qui compte des dizaines de milliers d'espèces (et peut-être des centaines de milliers ou plus, selon certains spécialistes), connues pour l'effet manipulateur de leur venin. Toutes ont un cycle de vie macabre : au stade adulte, elles se nourrissent comme les autres guêpes et abeilles, mais au stade larvaire, elles se nourrissent d'autres animaux. Elles ne sont ni tout à fait indépendantes ni tout à fait parasites – ce sont des « parasitoïdes ».

Un grand nombre d'espèces manipulatrices

Les blattes ne sont pas leurs seules cibles ; il existe des guêpes parasitoïdes qui déposent leurs œufs sur ou dans des araignées, des chenilles, des fourmis.

La guêpe *Agriotypus*, qui vit dans l'hémisphère Nord tempéré, plonge sous l'eau pour fixer ses œufs sur des larves de phryganes (ou trichoptères, des insectes ressemblant à des papillons de nuit) et peut

rester immergée jusqu'à une quinzaine de minutes pour accomplir sa tâche.

Les guêpes *Lasiochalcidia* d'Europe et d'Afrique se jettent courageusement dans les mandibules cauchemardesques d'un fourmilion, les écartent et déposent leurs œufs dans sa gorge.

Il existe même des guêpes dites hyperparasitoïdes qui parasitent d'autres guêpes semblables à elles, à l'instar des espèces euro-asiatiques du genre *Lysibia* : celles-ci

Il existe des guêpes dites hyperparasitoïdes qui parasitent d'autres guêpes parasitoïdes

détectent des chenilles parasitées par des guêpes parasitoïdes du genre *Cotesia* et déposent leurs œufs dans des larves de guêpe qui viennent juste de se métamorphoser en pupes. Dans certains cas, de multiples espèces de guêpes se parasitent l'une l'autre, conduisant à une poupée russe d'interactions parasites.

Et pour assurer la sécurité de leur passage de l'état larvaire à l'âge adulte, ces guêpes obtiennent de leur hôte souvent davantage qu'un simple repas. Ainsi, une espèce transforme ses chenilles-hôtes en gardes du corps morts-vivants qui vont défendre de jeunes guêpes métamorphosées en pupes et venant de se nourrir de leur corps. Une larve d'une autre espèce force son araignée-hôte à tisser une toile qui protégera son cocon, juste avant de tuer l'araignée.

Tandis que les guêpes de cette famille peu ordinaire ont poussé à la perfection l'art du contrôle cérébral, il existe d'autres animaux venimeux dont les toxines modifient les états mentaux. Il existe même des espèces dont les composés neurotoxiques traversent notre propre barrière hématoencéphalique, un exploit qu'aucun venin de guêpe n'accomplit. Mais contrairement aux blattes, nous autres *Homo sapiens* avons une étrange affinité pour les substances qui perturbent notre cerveau. Alors que les blattes fuient celles qui cherchent à leur détraquer le cerveau, certaines personnes sont disposées à payer plusieurs centaines d'euros pour une dose de produit qui leur fera connaître une expérience similaire. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

M. Kaiser et F. Libersat, The role of cerebral ganglia in the venom-induced behavioral manipulation of cockroaches stung in the parasitoid jewel wasp, *Journal of Experimental Biology*, vol. 218(7), pp. 1022-1027, 2015.

F. Libersat et R. Gal, What can parasitoid wasps teach us about decision-making in insects, *Journal of Experimental Biology*, vol. 216, pp. 47-55, 2013.

F. Thomas et F. Libersat, Les parasites manipulateurs, *Pour la Science*, n° 391, pp. 36-42, mai 2010.

R. Gal et F. Libersat, A wasp manipulates neuronal activity in the sub-esophageal ganglion to decrease the drive for walking in its cockroach prey, *PLoS One*, vol. 5(4), article e10019, 2010.

Les



géants



du ciel

Daniel Ksepka et Michael Habib

Les *Pelagornis* ont survolé les mers pendant plus de cinquante millions d'années. Avec leur envergure de plus de 6 mètres, comment faisaient ces oiseaux pour décoller ?

■ LES AUTEURS



Daniel T. KSEPKA est paléontologue et conservateur au musée Bruce de Greenwich, dans le Connecticut aux États-Unis.

Michael HABIB, anatomiste à l'université de Californie du Sud, étudie la biomécanique d'animaux éteints.

L'ESSENTIEL

- *Pelagornis*, un genre d'oiseaux marins qui a régné sur les océans pendant 50 millions d'années, était connu depuis 150 ans.
- Certains pélagornithidés avaient une envergure double de celle des plus grands oiseaux actuels.
- L'étude de *Pelagornis sandersi*, le plus grand oiseau fossile connu, donne enfin des clés sur l'envol, le vol et le mode de vie de ces géants des airs.
- Les raisons de leur disparition, il y a trois millions d'années, restent inconnues.

La pittoresque rade de Charleston, en Caroline du Sud, héberge une grande variété d'oiseaux résidents ou de passage, du pélican au cormoran en passant par les goélands, les hérons et de nombreux passereaux. Mais il y a environ 25 millions d'années, des oiseaux géants régnaient dans le ciel de ce port naturel. En 1983, lors de la construction d'un nouveau terminal de l'aéroport local, une équipe de paléontologues dirigée par Albert Sanders, alors conservateur du musée de la ville, a en effet mis au jour le fossile d'un grand oiseau. Malheureusement, comme ces chercheurs ont été confrontés en même temps à de nombreux fossiles, les restes en question se sont retrouvés délaissés sur des étagères. Jusqu'à ce que, récemment, l'un de nous, Daniel Ksepka, décide de réétudier ce fossile et mette en évidence ce qu'il a d'extraordinaire : ce sont les restes du plus grand oiseau volant jamais identifié !

Avec son envergure considérable, il ressemble à un petit avion, et le fait qu'il ait été découvert sur un aéroport est savoureux. En l'honneur de son découvreur, Daniel Ksepka a nommé son espèce *Pelagornis sandersi*, c'est-à-dire littéralement l'« oiseau pélagique de Sanders ».

Daniel Ksepka a ensuite mené des recherches afin de comprendre comment pouvait voler cet oiseau, dont les dimensions dépassent largement celles que certains spécialistes jugeaient maximales pour un oiseau capable de prendre les airs. De son côté, Michael Habib a étudié d'autres oiseaux géants fossiles. L'ensemble de ces travaux a conduit à une description bien plus complète des pélagornithidés, la famille à laquelle appartient *P. sandersi*. En particulier, on peut désormais conjecturer quels styles de vol ces oiseaux pratiquaient vraisemblablement.

Les pélagornithidés ont fait leur entrée dans le registre fossile dès 1857, quand Édouard Lartet en décrit un humérus. Ce père de la science préhistorique française pensait avoir identifié un os appartenant à un très ancien albatros et nomma l'espèce correspondante *Pelagornis miocaenus*, soit « oiseau de haute mer du Miocène ». Ce nom peu inspiré n'enlève rien au caractère spectaculaire du fossile, puisque l'humérus en question mesure près de 60 centimètres de long. Cela signifie que son propriétaire avait une envergure au moins double de celle d'un grand albatros d'aujourd'hui

(en moyenne 3,1 mètres). À l'époque de Lartet, une telle envergure était inconcevable. Malheureusement sur la base de cet unique humérus, les paléontologues du XIX^e siècle n'étaient pas en mesure de déterminer à quoi cet oiseau avait bien pu ressembler.

Un oiseau hauturier

Toutefois, l'idée que l'humérus décrit par Lartet pouvait provenir d'une autre espèce que celle d'un grand albatros s'imposa une dizaine d'années plus tard, en 1873, quand Richard Owen décrit le crâne d'un autre oiseau géant, trouvé en Angleterre. Ses recherches montrèrent clairement que l'espèce dont provenait ce crâne – qu'il nomma *Odontopteryx toliapica* – ne pouvait appartenir à aucun des groupes d'oiseaux modernes. Et la découverte ultérieure de spécimens plus complets révéla que l'oiseau dont Lartet avait étudié un humérus appartenait au même groupe éteint défini par le crâne d'Owen : celui des pélagornithidés.

D'autres découvertes ont été réalisées au cours du siècle suivant. En 1910, un marin brésilien vendit un crâne de pélagornithidé à l'université de Königsberg, en Allemagne (aujourd'hui Kaliningrad, en Russie). On l'attribua à une nouvelle espèce : *Pseudodontornis longirostris*. Puis sa trace se perdit au cours des bombardements alliés sur la ville en 1945. On ignore si ce spécimen a été volé, détruit ou transporté ailleurs.

Au cours des décennies suivantes, les chasseurs de fossiles ont mis au jour plusieurs nouvelles espèces, dont *Pelagornis orri*, en Californie, et *Pelagornis chilensis*, au Chili. Si les premiers fossiles du genre *Pelagornis* étaient en piteux état, les nouveaux, même partiels, ont permis aux paléontologues de mieux comprendre l'anatomie des pélagornithidés et leur adaptation au vol.

L'image qui émergea alors défie l'imagination, tant les traits des pélagornithidés sont stupéfiants. Il en est ainsi de ces curieux rangs serrés de « dents » portés par les mâchoires inférieures et supérieures. Nous savons que les oiseaux ont perdu la faculté de former des dents il y a plus de 65 millions d'années, donc une dizaine de millions d'années avant l'émergence des pélagornithidés. En réalité, ces derniers ont développé une alternative aux véritables dents dont étaient pourvus leurs ancêtres dinosaures : leurs « dents » ne sont que des excroissances osseuses.



CE CRÂNE DE *PELAGORNIS SANDERSI* est montré ci-dessus vu sous différents angles. On voit distinctement les pseudodents, des excroissances osseuses qui constituent l'un des traits caractéristiques des oiseaux du genre *Pelagornis*. Ces prédateurs marins utilisaient sans doute leurs pseudodents pour saisir des proies et les maintenir dans leur bec.

De vraies dents sont enchâssées dans la mâchoire et faites d'émail et de dentine. Les pseudodents des pélagornithidés n'ont rien de cela : ce sont des structures creuses formées directement dans l'os, curieusement groupées en sous-ensembles de trois, eux-mêmes groupés par trois. Des grandes pseudodents coniques sont en effet précédées et suivies de sous-ensembles comprenant une excroissance de taille moyenne flanquée d'aiguilles acérées (voir l'illustration ci-dessus). Du vivant des pélagornithidés, ces pseudodents étaient probablement recouvertes d'une mince couche du même matériau que celui qui gaine le bec des oiseaux actuels. On imagine qu'en ouvrant leur bec débordant de pseudodents acérées, les pélagornithidés nous auraient semblé menaçants. À quoi servaient ces excroissances ? Sans doute à saisir des proies et à les maintenir fermement.

Les performances prédatrices des pélagornithidés sont soulignées par d'autres traits étranges. Ainsi, le dispositif crânien de ces oiseaux était d'une souplesse incomparable : une forte charnière se trouvait là où la boîte crânienne rencontre la partie supérieure du bec et permettait à cette

dernière de ployer si nécessaire. Ensuite, la partie inférieure du bec comportait des articulations sur chacun de ses côtés qui lui permettaient aussi de ployer ; enfin, au lieu d'être jointe au menton par de l'os, cette « mâchoire inférieure » l'était par un tendon élastique. En somme, il semble que les pélagornithidés aient acquis un bec denté adapté à la saisie de grosses proies.

Un géant fragile ?

Pelagornis se distingue aussi des autres genres d'oiseaux par les os subcrâniens. Les os alaires sont tellement aplatis que cela a conduit certains paléontologues à les placer à l'envers lors de la reconstruction de squelettes ! Tous les oiseaux qui volent ont des os creux qui les allègent, mais *Pelagornis* a poussé cette caractéristique à l'extrême.

Chaque élément de ses ailes est constitué de parois osseuses exceptionnellement minces. La rigidité des os est donc assurée grâce à une structure pesant très peu, ce qui est primordial chez un grand oiseau volant. Des os fins ont cependant l'inconvénient majeur de se fracturer facilement, ce

qui peut condamner un oiseau à rester au sol et donc à ne plus pouvoir se nourrir...

Les os des membres postérieurs sont sans aucun doute les parties les plus normales des pélagornithidés, du moins en termes de forme. Les pattes qu'ils formaient semblent ridicules tant elles sont petites en comparaison des ailes. Néanmoins, leurs parois renforcées et leur forme massive devaient les rendre particulièrement résistantes. Les pélagornithidés devaient marcher maladroitement, comme de nombreux oiseaux marins actuels, mais l'essentiel était qu'ils puissent courir brièvement afin de parvenir à s'envoler.

Les chercheurs n'ont pas attendu la description de *P. sandersi*, publiée en 2014, pour savoir que la morphologie des pélagornithidés est inhabituelle, mais cette description a renforcé encore cette impression d'étrangeté. L'humérus de l'oiseau mesurait en effet presque un mètre de long, de sorte qu'il dépassait de plus de 30 % la longueur de celui de Lartet.

Cette longueur, supérieure à celle du bras d'une personne de taille moyenne, est si grande qu'il semblait impossible que cet humérus ait pu appartenir à un oiseau. On considérerait en effet que l'envergure maximale théorique de l'aile d'un oiseau était de 5,1 mètres : au-delà, estimait-on, un oiseau est trop lourd pour se maintenir en l'air en battant des ailes. Mais il fallut bien se rendre à la réalité : les os découverts à Charleston sont clairement ceux d'une aile taillée pour le vol et d'une patte pour l'envol... Et puisqu'un crâne doté d'une mâchoire à pseudodents les accompagnait, aucun doute n'est possible : il s'agit bien des restes d'un pélagornithidé.

L'excellent état de conservation de ces éléments de squelette, associé aux connaissances accumulées grâce à d'autres spécimens de pélagornithidés, a rendu possible une restitution de *P. sandersi*. Il apparaît que lorsque cet oiseau géant déployait ses ailes, elles mesuraient 6,06 à 7,38 mètres de bout en bout (voir les figures pages 58 et 61), soit plus du double de l'envergure du grand albatros, le plus grand des oiseaux actuels (avec le condor). Puisqu'elles supportaient le poids du corps de l'oiseau, les pattes, ou plutôt la circonférence de leurs os, indiquent que *P. sandersi* aurait pesé entre 21,9 et 40,1 kilogrammes. Quoique massif en comparaison des oiseaux modernes, l'animal était fin pour son envergure, grâce à un corps petit et à un squelette ultraléger.