



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.

Des os de *P. sandersi*, découverts dans les années 1980 près de l'aéroport de Charleston, aux États-Unis, viennent d'être réétudiés. Ils révèlent comment cet oiseau fossile – le plus grand connu à ce jour – pouvait voler. La question passionne les paléontologues, car l'envergure de cet oiseau, à peu près double de celle d'un grand albatros, semblait dépasser de beaucoup le maximum possible pour voler, compte tenu des lois de l'aérodynamique. Toutefois, plusieurs caractéristiques clés permettaient à *P. sandersi* de voler (ci-contre), ce que les chercheurs ont compris en comparant les mensurations de l'oiseau fossile avec celles d'oiseaux actuels (ci-dessous).

D'ÉTROITES ÉPAULES

L'omoplate de *P. sandersi* est très petite comparée au reste du corps, ce qui suggère que les muscles servant à battre des ailes se sont rapetissés à mesure que les ancêtres de cet oiseau ont abandonné ce style de vol. En outre, la forme presque carrée de la tête de l'humérus gênait la rotation nécessaire aux battements dans l'articulation de l'épaule, mais aidait à bloquer l'aile en vol plané.

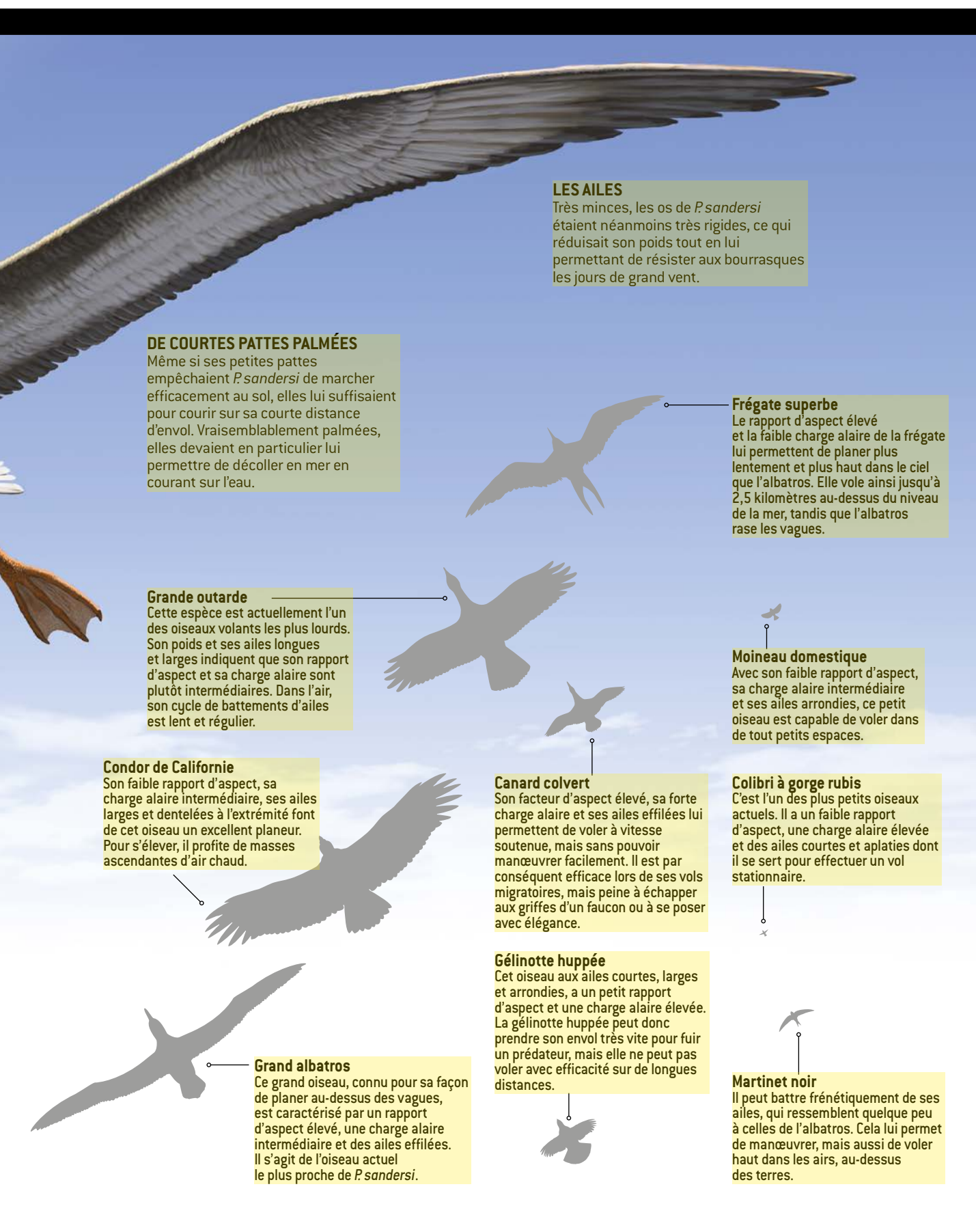
LONGUES ET EFFILÉES

Parmi les facteurs déterminant le style de vol chez les oiseaux figurent le rapport d'aspect (rapport entre la longueur de l'aile et sa largeur), la charge alaire (le poids du corps par unité de surface d'aile) et la forme de l'aile. *P. sandersi* présentait un rapport d'aspect élevé, des ailes effilées et une charge alaire intermédiaire, comme un albatros. Cela suggère que ce géant éteint excellait dans le vol plané sur de longues distances au-dessus des océans.

P. sandersi

Argentavis

Cette espèce éteinte passait jadis pour le plus grand oiseau volant ayant vécu. Il semble que ses ailes étaient similaires à celles d'un condor, avec un faible rapport d'aspect et des plumes écartées aux extrémités des ailes.



LES AILES

Très minces, les os de *P. sandersi* étaient néanmoins très rigides, ce qui réduisait son poids tout en lui permettant de résister aux bourrasques les jours de grand vent.

DE COURTES PATTES PALMÉES

Même si ses petites pattes empêchaient *P. sandersi* de marcher efficacement au sol, elles lui suffisaient pour courir sur sa courte distance d'envol. Vraisemblablement palmées, elles devaient en particulier lui permettre de décoller en mer en courant sur l'eau.

Frégate superbe

Le rapport d'aspect élevé et la faible charge alaire de la frégate lui permettent de planer plus lentement et plus haut dans le ciel que l'albatros. Elle vole ainsi jusqu'à 2,5 kilomètres au-dessus du niveau de la mer, tandis que l'albatros rase les vagues.

Grande outarde

Cette espèce est actuellement l'un des oiseaux volants les plus lourds. Son poids et ses ailes longues et larges indiquent que son rapport d'aspect et sa charge alaire sont plutôt intermédiaires. Dans l'air, son cycle de battements d'ailes est lent et régulier.

Moineau domestique

Avec son faible rapport d'aspect, sa charge alaire intermédiaire et ses ailes arrondies, ce petit oiseau est capable de voler dans de tout petits espaces.

Condor de Californie

Son faible rapport d'aspect, sa charge alaire intermédiaire, ses ailes larges et dentelées à l'extrémité font de cet oiseau un excellent planeur. Pour s'élever, il profite de masses ascendantes d'air chaud.

Canard colvert

Son facteur d'aspect élevé, sa forte charge alaire et ses ailes effilées lui permettent de voler à vitesse soutenue, mais sans pouvoir manœuvrer facilement. Il est par conséquent efficace lors de ses vols migratoires, mais peine à échapper aux griffes d'un faucon ou à se poser avec élégance.

Colibri à gorge rubis

C'est l'un des plus petits oiseaux actuels. Il a un faible rapport d'aspect, une charge alaire élevée et des ailes courtes et aplaties dont il se sert pour effectuer un vol stationnaire.

Gélinotte huppée

Cet oiseau aux ailes courtes, larges et arrondies, a un petit rapport d'aspect et une charge alaire élevée. La gélinotte huppée peut donc prendre son envol très vite pour fuir un prédateur, mais elle ne peut pas voler avec efficacité sur de longues distances.

Grand albatros

Ce grand oiseau, connu pour sa façon de planer au-dessus des vagues, est caractérisé par un rapport d'aspect élevé, une charge alaire intermédiaire et des ailes effilées. Il s'agit de l'oiseau actuel le plus proche de *P. sandersi*.

Martinet noir

Il peut battre frénétiquement de ses ailes, qui ressemblent quelque peu à celles de l'albatros. Cela lui permet de manœuvrer, mais aussi de voler haut dans les airs, au-dessus des terres.

La mesure de ces paramètres nous a ouvert la voie à une évaluation, par le calcul, du vol de *P. sandersi* et d'autres pélagornithidés. Remonter aux capacités locomotrices d'une espèce éteinte est un exercice particulièrement difficile, mais nous disposons aujourd'hui de simulateurs performants de l'aérodynamique d'un objet volant. Nous y avons fait appel pour étudier le vol de notre incroyable géant.

Toutefois, afin de bien saisir ce que prédisent ces programmes, encore faut-il étudier les différents styles de vol pratiqués par les oiseaux actuels. Très variables, ils vont du surplacé du colibri aux lents battements d'ailes du goéland. À l'évidence, ils varient surtout en fonction du rapport d'aspect de leurs ailes, c'est-à-dire du rapport entre leur longueur et leur largeur.

D'emblée, les ailes étonnamment longues de *P. sandersi* et des pélagornithidés – donc leur rapport d'aspect très élevé – ont suggéré que leur principale façon de voler consistait à surfer sur le vent ou les courants ascendants. Toutefois, les oiseaux planeurs d'aujourd'hui ont diverses façons de se maintenir en l'air pendant de longues périodes, de sorte qu'un examen plus approfondi de ces types de vol s'imposait.

Le condor ou le vautour ont des ailes très larges par rapport au poids de leur corps. En comparaison avec un oiseau de même masse, mais aux ailes moins portantes, cela implique des forces par unité de surface relativement faibles sur les ailes : on parle de faible « charge alaire ». Les ailes de ces grands oiseaux ont aussi la particularité d'être dentelées, c'est-à-dire que les rémiges qui les terminent peuvent s'écarter pour réduire la traînée (la résistance à l'écoulement de l'air). La combinaison de leur faible charge alaire et de la dentelure de leurs ailes rend le condor et le vautour capables de se laisser porter sur les courants d'air chaud qui s'élèvent du sol. Ils réussissent cela avec des ailes plus courtes que celles des grands planeurs marins, ce qui peut se révéler précieux dans les environnements terrestres souvent truffés d'obstacles (terrains accidentés, forêts, etc.).

La frégate, pour sa part, est un oiseau marin dont l'envergure atteint 2,3 mètres. Elle pratique un tout autre style de vol,

puisqu'elle profite des courants d'air chaud qui se forment au-dessus des océans. Plutôt que dentelées, ses ailes sont fuselées et effilées. Comptant parmi les oiseaux les plus légers, elle est logiquement caractérisée par une charge alaire exceptionnellement basse. Ces caractéristiques lui permettent de voler sur de longues distances et très haut dans le ciel, toujours prête à fondre sur une proie repérée à la surface de l'eau ou à faible profondeur.

À l'autre extrême du spectre des vols des oiseaux planeurs se trouve le grand albatros. Au contraire de la frégate, cet

oiseau est d'un poids important proportionnellement à l'envergure de ses ailes à la fois très longues, étroites et effilées. Son vol suppose donc l'existence de vents forts et rapides, ce qui explique qu'il séjourne surtout dans l'océan Austral. Toutefois, en de nombreuses circonstances, il ne trouve de tels vents que juste au-dessus des vagues. Pour les exploiter au mieux, les albatros pratiquent ce que l'on nomme le vol plané dynamique : ils modifient l'angle que font leurs ailes avec le flux de façon à réaliser une ascension face au vent, puis, la hauteur maximale étant atteinte, virent sur l'aile et surfent, le vent aux trois-quarts arrière, jusqu'au raz de l'eau, où ils virent à nouveau sur l'aile, et recommencent... En enchaînant ces montagues russes, les ailes bloquées en

position fixe, les albatros effectuent avec très peu d'énergie de longs déplacements. En 2004, des écologues ont étudié ceux d'un albatros équipé d'une balise et ont établi que, pendant neuf heures consécutives, l'oiseau a maintenu une vitesse moyenne de 127 kilomètres par heure ! Ce record de vitesse, pour un animal en vol plané dynamique, lui a été possible grâce aux vents d'une tempête de l'Antarctique. Cependant, l'étude de *P. sandersi* suggère que les pélagornithidés pratiquaient un style de vol plané inexistant chez les grands oiseaux planeurs d'aujourd'hui. Avec leurs ailes étroites, mais de grande surface de par leur très grande longueur, ils auraient en quelque sorte combiné les deux meilleurs styles : celui du vol ascensionnel dans les courants d'air de la frégate et celui du vol plané dynamique de l'albatros. Leur envergure leur aurait permis de pratiquer le vol plané dynamique quand le vent était assez fort et, grâce à la grande superficie de leurs ailes, de planer sur des milliers de kilomètres dans les courants ascensionnels s'élevant de l'océan.

Les plus gros pélagornithidés couvraient sans doute de telles distances assez vite. Selon nos calculs, leur vitesse de vol optimale dépassait 40 kilomètres par heure, ce qui est considérable. En outre, il semble que *P. sandersi* maintenait ce rythme sans grand effort : après avoir atteint 45 mètres d'altitude, il pouvait planer sur plus d'un kilomètre sans battre des ailes et sans l'assistance du vent.

P. sandersi passait probablement la majeure partie de son temps dans les airs, mais il fallait bien qu'il se pose de temps en temps – ne serait-ce que pour nicher – et donc qu'il redécollât. Comment faisait-il étant donné ses pattes minuscules ? La découverte de squelettes assez complets a montré que le corps des pélagornithidés était compact, de sorte que leurs pattes semblent finalement bien proportionnées. En réalisant la première restitution quantitative du mécanisme de l'envol des pélagornithidés géants, Michael Habib a prouvé que leurs petites pattes trapues, et probablement palmées, suffisaient à sprinter brièvement, notamment à la surface de l'eau. Les os de ces pattes étaient

Les oiseaux planeurs d'aujourd'hui ont diverses façons de se maintenir dans les airs



© Muséum de Charleston

assez robustes pour résister aux importants efforts musculaires que l'oiseau devait déployer pour atteindre une vitesse permettant de s'envoler.

Il reste à se poser la question du gigantisme des pélagornithidés. Les atouts d'une grande taille sont considérables : par kilomètre parcouru, les grands oiseaux consomment moins d'énergie que les petits ; ils peuvent capturer (ou dérober) de plus grandes proies et sont aussi moins souvent la cible de prédateurs. Qui attaquera un oiseau géant, une fois que celui-ci a pris son envol ? Mais une grande taille n'est pas toujours avantageuse : les gros animaux doivent se nourrir davantage, de sorte que leurs populations ne peuvent qu'être moins nombreuses que celles des animaux de taille plus modeste. Malgré cet inconvénient, de nombreuses lignées d'animaux volants de grande taille ont prospéré. L'absence actuelle de très grands oiseaux n'est qu'une exception à la règle : des animaux volants de grande taille ont presque toujours sillonné le ciel au cours des derniers 120 millions d'années.

Héritier des ptérosaures

De fait, les ptérosaures, des reptiles volants, ont régné dans les airs au-dessus des terres comme des mers pendant des millions d'années. Ceux qui survolaient les océans se nourrissaient probablement d'invertébrés et de poissons. Leur corps était aussi bien adapté aux vols sur de longues distances, et rien n'annonçait leur disparition quand, il y a 65 millions d'années, un gros astéroïde a percuté la Terre et entraîné leur extinction. Devenues vacantes, les niches écologiques des ptérosaures ont alors pu être occupées par de grands oiseaux, notamment marins.

Quelque dix millions d'années après la chute de l'astéroïde, l'évolution a fait apparaître les pélagornithidés, qui ont occupé les niches des ptérosaures marins. Leurs fossiles proviennent en effet

LORSQUE SES AILES ÉTAIENT DÉPLOYÉES,

Pelagornis sandersi avait une envergure comprise entre 6 et 7,4 mètres. Elle est comparée ici à l'« envergure » de 1,75 mètre atteinte par un homme haut de 1,80 mètre.

exclusivement de dépôts sédimentaires de milieux océaniques, ce qui indique que les proies marines constituaient l'essentiel de leur régime. Quel type de proies ? Comparées à de vraies dents, les pseudodents des pélagornithidés n'étaient guère solides ; on peut donc supposer qu'ils se nourrissaient d'animaux à corps mous présents à la surface de l'océan : calmars, anguilles...

Les pélagornithidés volaient aussi sans doute la pitance d'autres oiseaux. Aujourd'hui, certains grands oiseaux marins – le grand labbe par exemple – brutalisent en vol des oiseaux plus petits qu'eux pour leur faire régurgiter leurs proies, qu'ils gobent ensuite. Comme les pélagornithidés étaient les plus grands oiseaux de leurs écosystèmes, nul doute qu'ils avaient cette possibilité. Peut-être se nourrissaient-ils aussi des oisillons d'autres espèces, à l'instar du grand labbe et même de certains pélicans.

Le genre *Pelargonis* n'a pas été le seul à occuper la niche des grands ptérosaures marins : un autre groupe de très grands oiseaux, celui des tératornes, est apparu il y a quelque 23 millions d'années, et a perduré jusqu'à la fin du Pléistocène, il y a 11 700 ans. Munis d'ailes plus larges et plus courtes (seulement 4 mètres d'envergure) que celles des pélagornithidés et dotés d'un corps plus massif, il est probable que ces oiseaux volaient et chassaient comme nos condors actuels.

Après 50 millions d'années de survol des mers, le genre *Pelargonis* a disparu il y a trois millions d'années. On ignore pourquoi, même si l'on sait qu'avec la formation de l'isthme de Panama notamment, les milieux océaniques subissaient alors de profonds changements. Ces derniers ont-ils privé, directement ou indirectement, les pélagornithidés de leurs ressources ? Il est difficile de l'admettre, sachant que cette famille d'oiseaux avait, au fil des millions d'années précédents, traversé de nombreux autres bouleversements. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

D. T. Ksepka, *Flight performance of the largest volant bird*, *PNAS*, vol. 111 [29], pp. 10624-10629, 2014.

M. Habib, *Constraining the air giants : Limits on size in flying animals as an example of constraint-based biomechanical theories of form*, *Biological Theory*, vol. 8 [3], pp. 245-252, 2013.

P. Catry *et al.*, *Sustained fast travel by a grey-headed albatross (*Thalassarche chrysostoma*) riding an Antarctic storm*, *The Auk*, vol. 121 [4], pp. 1208-1213, 2004.