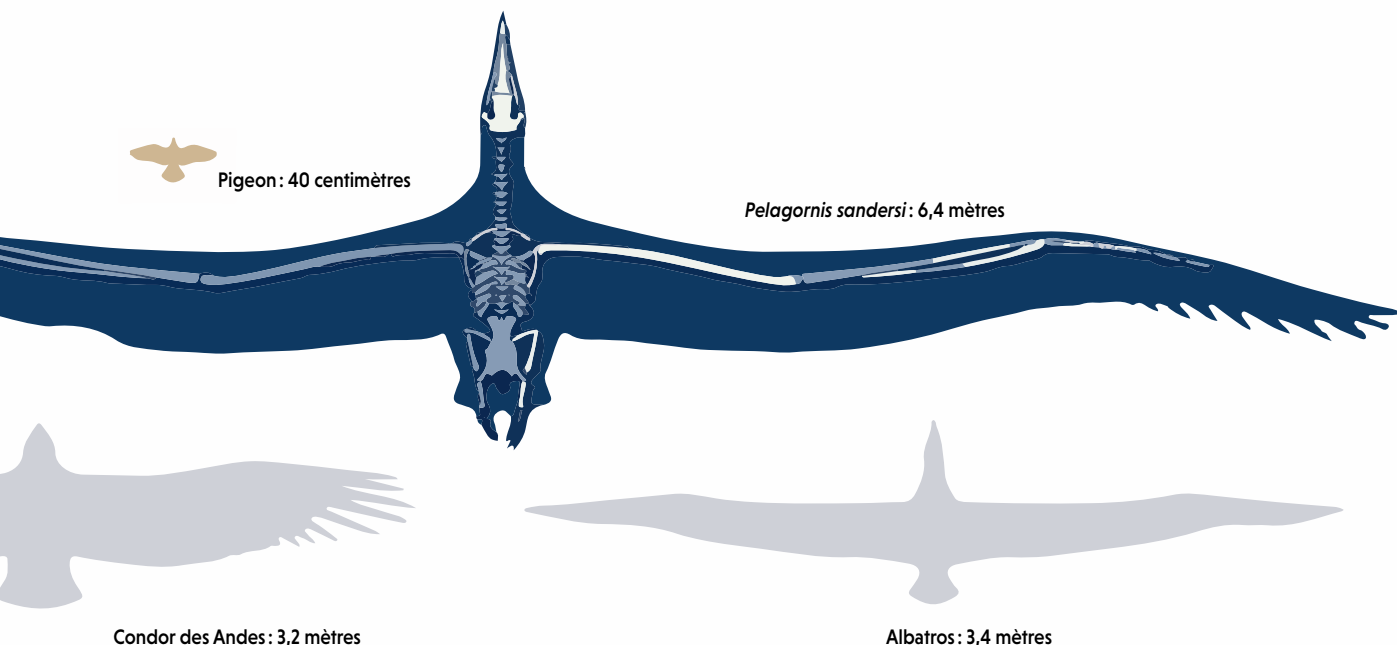


L'oiseau disparu, *Pelagornis sandersi*, avec une envergure de 6,4 mètres environ dépassait largement en taille l'albatros ou encore le condor géant. Des analyses récentes ont néanmoins montré qu'il était capable de voler à grande vitesse sur plusieurs kilomètres sans battre des ailes. Cet animal démontre qu'un dragon, de cette taille tout du moins, serait capable de voler.



distingue le vol plané du vol battu. Le vol plané est une sorte de chute contrôlée de l'animal, effectuée grâce à diverses structures permettant d'allonger la durée et la distance de vol après un saut (à la façon du vol en *wingsuit* de certains amateurs de sensations fortes). Les nageoires très allongées de l'exocet, un poisson des mers chaudes, les membranes souples le long du corps de *Draco volans* (petit lézard arboricole des forêts asiatiques), ou entre les doigts de la grenouille volante de Wallace (*Rhacophorus nigropalmatus*) et du gecko volant de Kuhl (*Ptychozoon kuhli*), ou encore les extensions de peau entre les pattes des écureuils volants (*Pteromyinae*) et des lémuriens volants (dermoptères) sont autant d'exemples d'évolution qui ont conduit au vol plané chez les vertébrés.

Le vol battu, quant à lui, correspond à un type de locomotion active où certains muscles et éléments du squelette (et pas seulement des extensions de peau ou des baguettes osseuses) participent activement à une locomotion aérienne, dynamique et en trois dimensions. Au cours de l'évolution des vertébrés, seuls trois groupes naturels ou clades ont expérimenté le vol battu : les ptérosaures, les oiseaux et les chauves-souris. Les premiers constituent un clade de reptiles fossiles apparus au Trias, il y a environ 230 millions d'années, et disparus à la fin du Crétacé, il y a 66 millions d'années lors de la grande extinction qui balaya aussi les

dinosaures non-aviens. Premiers vertébrés ayant développé le vol battu, les ptérosaures avaient des ailes formées d'une membrane souple sous-tendue par le quatrième doigt (l'équivalent de votre annulaire) et reliée au corps au niveau des flancs. Par leur aspect membraneux, ces ailes évoquent irrésistiblement celles des dragons.

Les oiseaux sont, quant à eux, des dinosaures à plumes : leurs ailes sont formées par trois doigts (le troisième, c'est-à-dire le majeur, est le plus imposant) et bien sûr par des plumes qui sont, sur le plan morphogénétique, de longues écailles ramifiées. Enfin, les ailes des chauves-souris ou chiroptères (de *cheiro* la main et *pterygion*, la membrane ou l'aile, en grec) correspondent à de fines membranes sous-tendues par les cinq doigts de la main. Elles sont aussi souvent comparées à celles des dragons. Ptérosaures, oiseaux et chauves-souris présentent aussi, par convergence évolutive, un bréchet, excroissance du sternum qui permet l'accroche des puissants muscles pectoraux thoraciques nécessaires au vol battu. Dépourvus de bréchet, certains oiseaux comme les autruches ou les kiwis sont incapables de voler. Est-ce le cas aussi chez les dragons ?

Pour le savoir, il faut comprendre la mécanique du vol. Celui-ci résulte de l'écoulement de l'air autour des ailes. Ce flux engendre une force aérodynamique proportionnelle à la >

► masse volumique de l'air ambiant, au carré de la vitesse de l'animal par rapport à cet air et à la surface de ses ailes. La composante verticale de cette force, la portance, permet de voler tandis que sa composante horizontale, la «traînée», s'oppose à la vitesse. Voler à altitude constante impose au volatile de se déplacer assez vite par rapport à l'air pour que la portance compense le poids. Pour un animal volant de taille L , la surface des ailes est proportionnelle au carré de L alors que son poids est proportionnel à son volume, donc au cube de L . Ainsi, la vitesse à laquelle la portance compense le poids est proportionnelle à la racine carrée de la taille de l'animal: plus il est grand, plus il doit voler vite pour se maintenir en l'air.

Mais voler à altitude constante nécessite aussi de fournir une puissance suffisante pour compenser l'effet de la traînée, faute de quoi la vitesse diminuera et le volatile tombera. Les ailes remplissent donc à la fois le rôle de sustentateur et celui de propulseur. Comme la portance, la force de traînée est proportionnelle au carré de la vitesse par rapport à l'air. La puissance à dépenser pour se maintenir en l'air, égale au produit de la traînée par la vitesse relativement à l'air, varie donc comme le cube de cette vitesse.

Comme il est très coûteux en énergie de voler vite, une espèce volante a nécessairement un métabolisme actif. On montre que la puissance à fournir pour compenser la puissance dissipée par la traînée varie comme la masse de l'animal à la puissance $7/6$. La puissance est fournie par les muscles et, selon une loi empirique, varie comme la puissance $3/4$ de sa masse, plus lentement que la puissance à dépenser. Il existe donc une limite supérieure à la masse d'un volatile, fixée par sa capacité à fournir la puissance nécessaire au maintien de sa vitesse de vol. L'outarde, avec ses 20 kilogrammes en moyenne, est l'oiseau volant actuel le plus massif.

Afin d'économiser leur énergie, les grands oiseaux, tels le condor des Andes (3,2 mètres d'envergure pour une masse variant entre 11 et 15 kilogrammes) et l'albatros (3,4 mètres d'envergure pour une masse comprise entre 6 et 12 kilogrammes), préfèrent planer avec leurs grandes ailes alors que les pigeons et les moineaux pratiquent plus volontiers le vol battu. Plus grand, plus lourd, *Pelagornis sandersi* évoluait dans le ciel il y a 25 à 28 millions d'années avec une envergure estimée à plus de 6 mètres pour une masse comprise entre 22 et 40 kilogrammes! En 2014, grâce à des simulations numériques, Daniel Ksepka, conservateur au Bruce Museum, dans le Connecticut, a montré que cet oiseau était capable de planer à grande vitesse sur plusieurs kilomètres sans avoir besoin de battre des ailes.

Cette envergure record pour un oiseau n'a atteint cependant pas celle des plus grands

ptérosaures: *Quetzalcoatlus* et *Hatzegopteryx*, avec leurs 10 mètres de large et leurs 100 kilogrammes estimés, restent les plus grands animaux volants connus. Qu'en est-il des dragons? Leurs mensurations démesurées imposent *a priori* des contraintes physiques qui rendent très difficile le vol battu. Mais certaines «trouvailles» de la nature pourraient aider. Ainsi, pour rendre plausibles ces géants ailés, nous pourrions les imaginer, comme les oiseaux ou les ptérosaures,



UN VRAI CRACHEUR DE «FEU»

Le coléoptère bombardier *Stenaptinus insignis* a un mécanisme de défense original et élaboré: il projette sur le prédateur un liquide corrosif à presque 100 °C.

dotés de diverses structures d'allègement: des sacs aériens multiples, des poumons démesurés, des crânes très fenêtrés ou encore des os complètement creux, et ainsi de suite. L'évolution a sélectionné une large gamme de structures possibles permettant de se mouvoir dans les airs!

ALLUMEEEEER LE FEU!

Le trait caractéristique du dragon, celui qui en fait un être à la fois puissant et effrayant, est sa capacité à cracher du feu. Or une réaction de combustion ne peut se produire que si trois éléments sont réunis: un combustible, un comburant et une énergie d'activation en quantités suffisantes. C'est pourquoi les pompiers parlent de «triangle du feu». Si la question du comburant est facilement évacuée (il s'agit généralement du dioxygène, O_2 , contenu dans l'air), examinons quel serait le combustible et d'où viendrait l'énergie déclenchant la combustion.

Dans les feux courants, le combustible est un solide (charbon, bois, papier, carton, tissu,