



L'Archéoptéryx pratiquait le vol actif

Savoir si l'Archéoptéryx, ce dinosaure-oiseau qui a vécu à la fin du Jurassique il y a environ 150 millions d'années, était un dinosaure à plume vivant sur terre, ou un animal capable de planer ou de pratiquer le vol actif, est une question qui fascine les paléontologues depuis des décennies. De nouvelles informations obtenues grâce aux techniques de pointe de l'ESRF, le synchrotron européen de Grenoble, ont permis à une équipe scientifique internationale de répondre à cette question. Dans une étude parue dans *Nature Communications*, ils ont démontré que les os des ailes de l'Archéoptéryx permettaient un vol actif (propulsion par mouvement des ailes), mais un vol différent du vol des oiseaux modernes.

Est-ce que l'Archéoptéryx était capable de voler, et si oui, comment? S'il est établi que les oiseaux modernes descendent des dinosaures, beaucoup de questions demeurent sans réponses quant aux origines de leur évolution et au développement du vol aviaire. Les méthodes scientifiques traditionnelles n'ont pas permis, jusqu'à présent, de répondre clairement à cette question. En utilisant la technique de microtomographie synchrotron développée à l'ESRF pour scanner les fossiles d'Archéoptéryx, une équipe scientifique internationale impliquant des chercheurs de l'ESRF, de l'Université de Palacký, République Tchèque, du CNRS et de Sorbonne Université¹, de l'Université D'Uppsala, Suède et du Musée de Solnhofen, Allemagne ont apporté un nouvel éclairage sur ce lointain cousin des oiseaux actuels.

Décrypter un comportement disparu est un vrai défi pour les paléontologues, et en particulier lorsqu'il s'agit d'animaux aussi énigmatiques que le célèbre Archéoptéryx de Bavière, fossile issu des sédiments du Jurassique supérieur du sud-est de l'Allemagne, considéré, potentiellement, comme le plus ancien dinosaure-oiseau. Ce fossile bien préservé présente une mosaïque de caractères anatomiques qui illustre bien les liens étroits entre certains dinosaures disparus tels que les « raptors », et le groupe incluant les dinosaures vivants, c'est-à-dire les oiseaux. Beaucoup d'espèces d'oiseaux modernes présentent un squelette particulièrement adapté pour le vol battu ; or de nombreux caractères propres à ce type de vol, notamment au niveau de l'épaule, sont absents chez l'Archéoptéryx. Bien que ses ailes ressemblent à celles d'oiseaux modernes, la structure des épaules est incompatible avec le mouvement des ailes utilisé par les oiseaux modernes pour le vol battu.

"L'architecture de l'os des membres (ailes ou pattes) est à la fois le résultat de 1) la sélection de caractères hérités maximisant la résistance et minimisant la masse osseuse (adaptation évolutive), et 2) l'enregistrement des forces exercées sur l'os au cours de la vie de l'animal (accommodation)" explique le professeur J. Cubo de Sorbonne Université à Paris.

¹ Au laboratoire Ethologie animale et humaine (CNRS/Université de Rennes 1/Université de Caen Normandie) et de l'Institut des sciences de la Terre Paris (CNRS/Sorbonne Université).



"L'utilisation de méthodes statistiques permet de comparer les os des animaux actuels, pour lesquels on connaît les comportements, avec les os d'organismes fossiles. Cette démarche permet d'apporter de nouvelles informations à des questions paléontologiques longuement débattues" ajoute Sophie Sanchez de l'Université d'Uppsala, Suède.

Un autre défi pour les scientifiques vient du fait que les squelettes d'Archéoptéryx sont conservés dans des blocs de calcaire, qui ne révèlent qu'une partie de leur morphologie. Étant donné que ces fossiles sont parmi les plus précieux au monde, il est impossible de les dégager entièrement ou de les couper pour révéler leurs structures cachées. *"Heureusement, aujourd'hui, il n'est plus obligatoire d'endommager les fossiles importants pour les étudier en détails"*, explique Paul Tafforeau, paléontologue à l'ESRF. *"La sensibilité exceptionnelle des techniques d'imagerie par rayons X disponibles à l'ESRF permet une analyse microscopique des os fossiles et des reconstructions 3D virtuelles d'une qualité extraordinaire, tout en préservant le fossile. Dans le cadre du programme de modernisation de l'ESRF, il est prévu une nouvelle ligne de lumière spécifiquement dédiée à la tomographie. Ces développements promettent des résultats encore bien supérieurs, et sur des spécimens plus gros"*.

Les données scannées à l'ESRF ont révélé de manière inattendue que les os des ailes d'Archéoptéryx, contrairement à l'épaule, avaient des caractères adaptatifs similaires à ceux des oiseaux modernes. *«Nous nous sommes concentrés sur la partie médiane des os des ailes parce que nous savions que ces sections contenaient des informations importantes relatives au vol chez les oiseaux»*, explique Emmanuel de Margerie, chercheur CNRS. *"Nous avons immédiatement remarqué que les parois osseuses de l'Archéoptéryx étaient beaucoup plus fines que celles des dinosaures terrestres, mais ressemblaient beaucoup aux os des oiseaux"*, poursuit Dennis Voeten, de l'ESRF, et auteur principal de l'étude. *"Les analyses ont, en outre, démontré que les os d'Archéoptéryx ressemblaient plutôt à ceux d'oiseaux comme les faisans qui utilisent parfois le vol battu pour franchir des barrières ou esquiver les prédateurs, mais pas aux os d'oiseaux planant sur de longues distances, comme des oiseaux marins ou des rapaces."*

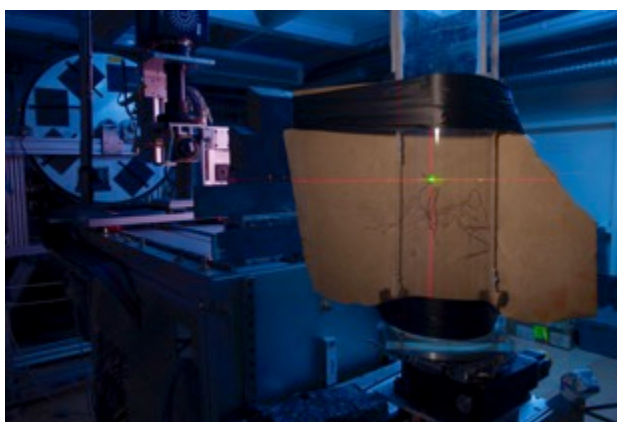
Comme le précise Martin Röper, conservateur au musée de Solnhofen, hébergeant plusieurs Archéoptéryx et co-auteur de l'étude : *"Nous savions que la région de Solnhofen, en Allemagne, était un archipel tropical il y a 150 millions d'années. Un tel environnement semble parfaitement adapté à l'utilisation d'un vol de relativement courte durée pour voyager d'île en île."* Et, Vincent Beyrand, ESRF, d'ajouter : *"Au Jurassique, l'Archéoptéryx a partagé les airs avec les premiers ptérosaures qui ont ensuite évolué en des formes géantes au Crétacé. Lors de l'étude, nous avons trouvé les mêmes différences dans la géométrie des os des ailes entre les ptérosaures les plus anciens et les formes les plus avancées, qu'entre les oiseaux qui ont un vol battu et les oiseaux qui planent"*.

L'Archéoptéryx étant le plus ancien représentant connu de la lignée des avialiens – lignée qui comprend les oiseaux modernes –, ces découvertes expliquent non seulement certains aspects du mode de vie des Archéoptéryx, mais donnent aussi des informations précieuses sur l'évolution précoce du vol chez les dinosaures. *"En effet, nous savons maintenant que l'Archéoptéryx utilisait ses ailes de façon active il y a 150 millions d'années, ce qui implique que le vol actif est apparu encore plus tôt chez les dinosaures!"*, explique le professeur Stanislav Bureš de l'Université Palacký à Olomouc, en République Tchèque.



"Cependant, parce que l'Archéoptéryx n'avait pas les adaptations pectorales pour voler comme les oiseaux modernes, en particulier le sternum permettant l'attache des muscles du vol, également appelé bréchet. Pour cette raison, la façon dont l'Archéoptéryx a pu réaliser le vol actif devait aussi être différente. Nous continuerons donc à étudier ces fossiles pour mieux comprendre comment cet animal exceptionnel battait des ailes », conclut Dennis Voeten.

Grâce à cette étude, il est maintenant prouvé que l'Archéoptéryx est un représentant de la première forme connue de vol actif chez les dinosaures; forme qui a finalement disparu pour laisser place au vol battu des oiseaux modernes.



Left: The Munich specimen of the transitional bird *Archaeopteryx*. It preserves a partial skull (top left), shoulder girdle and both wings slightly raised up (most left to center left), the ribcage (center), and the pelvic girdle and both legs in a "cycling" posture (right); all connected by the vertebral column from the neck (top left, under the skull) to the tip of the tail (most right). Imprints of its wing feathers are visible radiating from below the shoulder and vague imprints of the tail plumage can be recognised extending from the tip of the tail. Credits: ESRF/Pascal Goetgheluck

Right: The Munich specimen of *Archaeopteryx* at beamline ID19 at the ESRF. The limestone plate was mounted on a rotating sample stage and the beam is here centered on the skull using lasers. The X-ray beam, coming from the right of the picture, travels through the sample and arrives at the detector (visible left) where a camera records the signal.

Credits: ESRF/Pascal Goetgheluck

Contact presse : Delphine Chenevier, ESRF

Email : delphine.chenevier@esrf.fr

Tel : +33 (0)607161879

Contacts des scientifiques :

Dennis F.A.E. Voeten, PhD candidate, main author, ESRF and Palacký University, Czech Republic

E-mail: dennis.voeten01@upol.cz

Phone: +31 (0)616962760

Languages: English, Dutch



Dr Paul Tafforeau, palaeontologist, ESRF, the European Synchrotron, Grenoble, France

E-mail: paul.tafforeau@esrf.fr

Phone: +33 (0)438881974

Languages: French, English

Prof. Jorge Cubo, palaeontologist, professeur de Sorbonne Université, Institut des sciences de la Terre Paris (CNRS/Sorbonne Université)

E-mail: jorge.cubo_garcia@sorbone-universite.fr

Languages: French, English, Spanish

Dr. Emmanuel de Margerie, biologist, chercheur CNRS au laboratoire Ethologie animale et humaine (CNRS/Université de Rennes 1/Université de Caen Normandie)

E-mail: emmanuel.demargerie@univ-rennes1.fr

Languages: French, English

Dr. Martin Röper, palaeontologist and curator, Bürgermeister-Müller-Museum Solnhofen and Bayerische Staatssammlung für Paläontologie und Geologie Munich, Germany

E-mail: m.roeper@solnhofen.de

Phone: +49 (0)15146724027

Languages: German, English

Vincent Beyrand, PhD candidate, ESRF and Palacký University, Czech Republic

E-mail: vincent.beyrand01@upol.cz

Phone: +33 (0)665468691

Languages: French, English

Prof. Stanislav Bureš, biologist, Palacký University, Czech Republic

E-mail: stanislav.bures@upol.cz

Languages: Czech, English

Dr. Sophie Sanchez, palaeontologist, Uppsala University, Sweden

E-mail: sophie.sanchez@ebc.uu.se

Languages: French, English