

■ LES AUTEURS



Ewan FORDYCE est paléontologue à l'Université Otago, en Nouvelle-Zélande.



Daniel KSEPKA est paléontologue à l'Université d'État de Caroline du Nord, aux États-Unis.

■ POUR INFO

Jeudi 14 mars, Yvon Le Maho et le paléontologue Philippe Taquet, président de l'Académie des sciences, reviendront sur l'évolution passée des manchots et sur leur avenir face au changement climatique dans l'émission **La marche des sciences**, sur France Culture de 14h à 15h. www.franceculture.com



1. UN MANCHOT À ŒIL JAUNE ou manchot antipode (*Megadyptes antipodes*) de Nouvelle-Zélande.

à la nage les eaux entourant la Zélandia sans craindre concurrents ou prédateurs.

Ayant acquis leurs caractéristiques aquatiques en Zélandia, les manchots ont vite étendu leur domaine, se dispersant sur des milliers de kilomètres et dans de nouvelles zones climatiques. Les fossiles de l'espèce péruvienne *Perudyptes devriesi* montrent que les manchots sont arrivés à proximité de l'équateur il y a environ 42 millions d'années. En d'autres termes, ils se sont établis dans l'un des lieux les plus chauds au cours d'une des périodes les plus chaudes de l'histoire de la planète. À cette époque, la température au Pérou était d'environ 29,5°C, et la température moyenne des océans dépassait la température actuelle de 10,8 à 14,4°C. À peu près au même moment, des manchots géants tels que *Anthropornis nordenskjöldi* vivaient sur l'île Seymour, en Antarctique. Il y a 37 millions d'années, les manchots s'étaient répandus sur presque toutes les grandes terres de l'hémisphère Sud.

Une adaptation au froid... en pays chaud

Pourquoi les manchots, après s'être cantonnés à la Zélandia pendant des millions d'années, se sont-ils brusquement répandus dans tout l'hémisphère Sud, il y a environ 50 millions d'années ? Récemment, l'un de nous (Daniel Ksepka) a découvert un indice important, une caractéristique longtemps négligée à la surface des os de nageoires qu'il est facile de négliger parmi toutes les marques associées aux muscles et aux tendons. D. Ksepka fut le premier à remarquer ces sillons en 2006, tandis qu'il étudiait les nageoires de manchots congelés dans le sous-sol du Muséum d'histoire naturelle américain à New York à la recherche de relations entre les marques sur les os fossiles et l'anatomie de la nageoire. Simultanément, Daniel Thomas, spécialiste des manchots, menait des recherches similaires à l'Université d'Otago, visant notamment à comprendre comment a évolué la capacité des manchots à réguler leur température.

En comparant leurs notes, D. Ksepka et D. Thomas ont remarqué que ces sillons se forment en un point où un groupe d'artères et de veines s'appuient sur l'humérus. Ces vaisseaux sanguins constituent un échangeur de chaleur à contre-courant nommé le plexus artériel huméral, qui permet

aux manchots de limiter les pertes de chaleur par les nageoires et de maintenir leur température corporelle dans l'eau froide. Chez les manchots actuels, le sang chaud quittant le cœur est refroidi par ce plexus avant d'atteindre l'extrémité de la nageoire, et le sang froid revenant des nageoires est réchauffé avant d'atteindre le cœur.

Cette découverte offre un éclairage quelque peu surprenant sur l'origine de la thermorégulation des manchots. Les espèces actuelles ayant la capacité de supporter un froid extrême, on pourrait penser que le plexus est le fruit de l'adaptation évolutive à un environnement très froid. Mais les fossiles suggèrent tout autre chose. La présence de tels sillons sur des restes de manchots vieux de 49 millions d'années, tels que *Delphinornis*, un manchot de petite taille de l'Antarctique, montre que l'apparition de cette caractéristique remonte au moins à cette époque. Cependant, les premiers manchots *Waimanu* de Zélandia, qui ont vécu il y a 58 millions d'années, ne présentent aucune trace de cette caractéristique. Le plexus doit donc avoir évolué entre-temps, quand la Terre était bien plus chaude qu'elle ne l'est aujourd'hui. À cette époque, l'Antarctique était dépourvu de couches de glace permanentes et offrait plutôt un environnement forestier tempéré ; la Zélandia était encore plus chaude.

Quel avantage évolutif un plexus conservateur de chaleur a-t-il pu procurer aux premiers manchots, dans ce monde aussi chaud qu'une serre ? Si les températures à la surface de la mer étaient élevées, les premiers manchots recherchaient probablement leur nourriture plus en profondeur, dans des régions riches en nutriments et donc propices à la présence de proies en quantité, dont des poissons et des calmars. Cette pêche en eaux plus froides comportait un risque, cependant. La chaleur corporelle étant plus vite perdue dans l'eau que dans l'air, si la température de l'eau est inférieure à sa température corporelle, un animal à sang chaud – tel un plongeur humain – peut être victime d'hypothermie même dans des mers chaudes. Les manchots à sang chaud risquaient de subir le même sort dans ces eaux froides – malgré leurs couches de graisse isolantes et leurs plumes imperméables. En réduisant les pertes de chaleur par les nageoires, le plexus artériel huméral leur aurait permis de maintenir plus longtemps leur chaleur corporelle dans des eaux froides.

Les manchots menacés par le réchauffement climatique

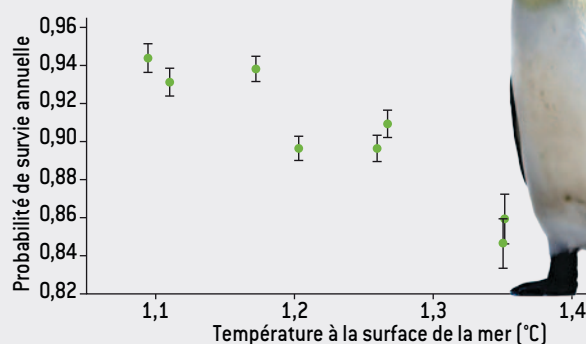
En complément de l'approche paléontologique, la comparaison d'espèces actuelles apparentées, mais vivant dans des milieux contrastés, permet de déterminer grâce à quels processus adaptatifs, notamment comportementaux, les manchots ont colonisé l'ensemble de l'hémisphère austral. Ces adaptations sont très lentes – sur plusieurs dizaines de millions d'années –, d'autant plus que l'âge de première reproduction est élevé, atteignant cinq ans chez certaines espèces.

Prenons le manchot empereur (*A. forsteri*) et le manchot royal (*A. patagonicus*). En raison de leurs nombreuses similitudes morphologiques, ils ont été classés dans le même genre, *Aptenodytes*. Néanmoins, le manchot empereur est le seul animal à se reproduire en hiver sur la glace de mer au cœur du rude hiver antarctique, à des températures ambiantes qui, pour certaines colonies, descendent à -50°C . Dans la colonie située près de la base Dumont d'Urville en terre Adélie, la température descend rarement en dessous de -30°C , mais les rafales de vent atteignent des vitesses comprises entre 100 et 200 kilomètres par heure, ce qui augmente considérablement le pouvoir de re-

froidissement ambiant. Le manchot royal est rarement soumis à des températures négatives, car il vit dans la zone subantarctique; les deux tiers de ses populations se reproduisent dans l'archipel de Crozet, où la température moyenne est d'environ 5°C .

Avec des extrémités (bec et ailerons) plus grandes et une taille réduite (80 centimètres pour 13 à 15 kilogrammes, au lieu d'un mètre pour 25 à 40 kilogrammes pour le manchot empereur), la morphologie du manchot royal correspond à un stade intermédiaire dans l'adaptation au froid par rapport au manchot empereur. En effet, plus un animal est grand et volumineux avec des extrémités réduites, moins importante est sa surface corporelle de déperdition thermique par rapport à son volume producteur de chaleur.

Mais la morphologie du manchot empereur ne suffit pas pour lui assurer sa reproduction dans un froid extrême. Son processus adaptatif décisif est en fait comportemental : en serrant les uns contre les autres pour former des « tortues », les manchots empereurs réduisent de moitié leur vitesse d'amaigrissement, ce qui permet au mâle de jeûner en moyenne 120 jours et ainsi d'assurer la totalité



Une augmentation de la température à la surface de la mer de seulement $0,3^{\circ}\text{C}$ dans la zone à la limite des glaces où les manchots royaux se nourrissent en hiver se traduit par une diminution de près de dix pour cent de leur survie.

de l'incubation. Cela est rendu possible à la fois par la mobilité (l'œuf est couvé sur les pattes), mais aussi par le fait que le manchot empereur n'a pas de comportement territorial (c'est le seul manchot dans ce cas).

Comme l'indiquent à juste titre E. Fordyce et D. Ksepka, la rapidité du changement climatique constitue une terrible menace pour des oiseaux à l'adaptation aussi poussée à leur milieu. Ainsi, 80 pour cent des populations de manchots Adélie (*Pygoscelis adeliae*) ont disparu de l'Ouest de la péninsule Antarctique, l'une des zones de la pla-

nète qui se réchauffent le plus actuellement. En prenant en compte les scénarios de nos collègues climatologues, avec Céline Le Bohec nous avons montré en 2008 que les populations de manchots royaux de Crozet sont gravement menacées (voir la figure). Et en 2009, nos collègues du Centre d'études biologiques de Chizé (CNRS) ont aussi prédit l'extinction de la colonie de manchots empereurs de terre Adélie.

Yvon Le Maho
Institut pluridisciplinaire
Hubert Curien, CNRS-Université
de Strasbourg

Graphie : d'après C. Le Bohec et al., PNAS, 2008. © Shutterstock Neale Couland

Il pourrait aussi avoir aidé les manchots à supporter les longs voyages en haute mer, grâce auxquels ils se sont dispersés, à partir de la Zélandia, vers les autres continents. Cette hypothèse nous semble d'autant plus plausible que les premières vagues de manchots fossiles apparues en dehors de la Zélandia semblent toutes présenter cette caractéristique. Les manchots modernes n'auraient détourné ce mécanisme que bien plus tard pour coloniser les glaces formées quand la planète s'est refroidie.

Dix espèces cohabitaient

À partir du moment où ils se sont dispersés dans tous les océans de l'hémisphère Sud, les manchots ont connu une importante diversification. Le manchot de Nouvelle-Zélande *Pachydyptes ponderosus* – le « plongeur corpulent » – était un géant, connu seulement à partir de quelques os épais datant d'environ 35 millions d'années. On

estime sa masse à plus de 68 kilogrammes. À l'autre extrémité du spectre, *Eretiscus tomii* – le « rameur minuscule » – d'Argentine, vieux de 21 millions d'années, avait une taille inférieure à 0,5 mètre. Comme le petit manchot bleu vivant actuellement en Nouvelle-Zélande, les membres de cette espèce sont peut-être arrivés sur la terre ferme dans des sortes de radeaux composés de plusieurs dizaines d'oiseaux – un comportement qui peut réduire les risques de prédation.

Certains manchots usaient d'une arme mortelle. Il y a environ 36 millions d'années, *Icadyptes salasi* – le « plongeur d'Ica », du nom d'une région du Pérou – patrouillait dans les voies maritimes préhistoriques équipé d'un bec allongé et renforcé, monté sur un cou enveloppé de muscles puissants, prêt à empaler tout poisson ou calmar passant à sa portée. D'autres manchots arboraient d'étranges capes, tel le spécimen *Inkayacu paracasensis* – « le roi des eaux » – vieux de

36 millions d'années mis au jour en 2010 au Pérou par Julia Clarke, de l'Université du Texas à Austin. Magnifiquement conservé, il portait encore des plumes et sa peau. Des détails microscopiques ont révélé la présence de pigments brun rougeâtre et gris, bien loin des motifs noirs et blancs des manchots actuels.

Non seulement les anciens manchots se sont diversifiés, mais les variations ont été nombreuses. Outre les 19 espèces actuelles, les paléontologues ont identifié plus de 50 espèces fossiles. De surcroît, dans de nombreuses régions, des preuves solides suggèrent que de multiples espèces cohabitaient dans le passé. Sur l'île Seymour, par exemple, on compte jusqu'à dix espèces dans les mêmes couches fossiles. Ce recouvrement est fascinant, car il suggère que ces espèces étaient capables de se constituer suffisamment de niches écologiques différentes à partir du même espace physique pour coexister. Par comparaison, chez les