

sexuels ou des traits servant à l'identification entre congénères. Leur rôle exact, comme celui de leurs sacs d'air, n'est pas clair.

L'un des défis de l'étude de l'évolution de toute espèce est de comprendre les variations au sein d'un même groupe taxonomique (espèce ou groupe d'espèces classées dans une même entité) ou entre groupes taxonomiques différents. Welles pensait que les squelettes que nous attribuons aujourd'hui au dilophosaure appartenaient à plusieurs genres différents. À l'aide des outils de cladistique les plus récents, l'un de nous (Adam Marsh) a mis à l'épreuve cette hypothèse en relevant des centaines de traits anatomiques sur chaque squelette puis en les comparant. Il en ressort que, contrairement à ce que supposait Welles, tous les squelettes connus sont si proches qu'ils appartiennent non seulement à un seul genre, mais aussi à une seule et unique espèce.

Adam Marsh a intégré ces traits anatomiques dans un ensemble de données bien plus vaste afin de comparer le dilophosaure à d'autres dinosaures du monde entier. Il a ainsi pu élucider l'évolution et la distribution biogéographique des différents groupes de dinosaures, ce qui lui a permis de placer plus précisément le dilophosaure dans l'arbre phylogénétique dinosaurien. Cela a mis en évidence que le dilophosaure est notablement séparé de ses plus proches parents connus, ce qui implique que de nombreuses formes plus proches de lui restent à découvrir.

ALLUVIONS QUATERNAIRES

Si notre vision du dilophosaure a progressé, il en est de même de celle que nous nous faisons de son milieu de vie. La descente des falaises d'Adeii Eichii pour se rendre sur le site à dilophosaures signifie un voyage de plus de 180 millions d'années jusqu'au Jurassique inférieur. À l'époque, des dinosaures foulaient les environs en laissant des empreintes dans ce qui est devenu aujourd'hui le grès du plateau du Colorado. Les routes goudronnées s'arrêtant à plusieurs kilomètres du site fossilifère, il nous faut emprunter des pistes à deux voies envahies d'ornières pour traverser des champs de dunes notés QAL sur nos cartes géologiques (pour *quaternary alluvium*, «alluvions quaternaires»). C'est ce sable déplacé par le vent qui avait ensablé notre véhicule tout-terrain en 2014. Sous ces dunes récentes se cache le grès navajo, c'est-à-dire les restes d'un désert de 180 millions d'années. Les Badlands à roches rouges de Ward Terrace, comme on nomme la zone, s'étendent vers l'ouest où, vers Flagstaff en Arizona, ils donnent sur les volcans de San Francisco, beaucoup plus récents. Au nord-ouest se trouve le début de l'une des structures géologiques les plus visitées du monde: le Grand Canyon.

Des sables qui ont piégé notre véhicule au sommet de Ward Terrace jusqu'au schiste de

Vishnu – la roche noire du fond du canyon creusé par le fleuve Colorado –, ces paysages représentent une durée de 1,8 milliard d'années. Paléontologues, nous nous efforçons de comprendre les espèces fossiles enregistrées dans ces roches et nous utilisons les faisceaux d'indices géologiques et biologiques préservés pour restituer leurs environnements disparus.

L'un de nos objectifs était de déterminer avec précision l'âge de la formation Kayenta qui a livré des dilophosaures. Cette roche s'est constituée parce que des rivières, des ruisseaux et des lacs se trouvant à l'est d'un arc volcanique amassaient des cendres et des particules fines. Les cendres ont à la fois préservé les fossiles de dilophosaure et aidé aux premières tentatives de datation de la formation Kayenta.

Nous avons collecté de nouveaux échantillons de roche afin de les dater par radiochronologie, c'est-à-dire en exploitant la décroissance, au cours du temps, de l'abondance de certains isotopes radioactifs de l'uranium. En broyant ces échantillons, nous en avons extrait des cristaux de zircon, un minéral stable qui a préservé les isotopes d'uranium lors de la formation de la roche. Ces isotopes se désintégrant en plomb en plusieurs étapes et à un rythme constant, nous avons déterminé l'âge des échantillons rocheux en vaporisant au laser les cristaux de zircon et en les analysant avec un spectromètre de masse, qui a mesuré les proportions de plomb et d'uranium présentes. Résultat: à quelques millions d'années près, les roches qui ont livré des fossiles de dilophosaure datent de 183 millions d'années.

Le dilophosaure a donc vécu au début du Jurassique, environ 5 à 15 millions d'années après l'extinction massive de la fin du Trias, dans laquelle ont disparu les trois quarts environ des formes de vie existantes – dont la plupart des grands reptiles qui étaient en concurrence avec les premiers dinosaures. Cette extinction de masse résulte probablement de la dislocation du supercontinent de la Pangée, lorsque l'océan Atlantique s'est ouvert du sud au nord, libéré par une fermeture Éclair volcanique. Tout au long du Trias supérieur et du Jurassique inférieur, la plaque tectonique Nord-Américaine s'est déplacée vers le nord, passant d'un climat subtropical à un climat aride, si bien que l'habitat du dilophosaure s'est déplacé de la latitude approximative de l'actuel Costa Rica vers le nord du Mexique actuel. Ainsi, l'écosystème à l'origine de la formation Kayenta connaissait une saison sèche et des dunes y traversaient des zones plus humides, où s'épanouissait la vie animale.

Les fossiles d'autres organismes trouvés dans la formation Kayenta révèlent que le dilophosaure était le superprédateur de son milieu, constitué des environs d'un cours d'eau bordé de conifères traversant une mer de sable. Un spécimen de dilophosaure conservé à l'université du Texas fut découvert en compagnie de ➤

> deux individus *Sarawsaurus*. Ces dinosaures herbivores à long cou côtoyaient *Megapnosaurus*, un petit dinosaure carnivore, et *Scutellosaurus*, un petit dinosaure cuirassé. L'animal le plus fréquent dans la formation Kayenta était la tortue *Kayentachelys*, qui nageait aux côtés de poissons osseux revêtus d'écailles, notamment de coelacanthés d'eau douce et de dipneustes. Des mammifères archaïques étaient présents, notamment des tritylodontidés, qui évoquent des castors, et des morganucodontidés, qui font penser à des rats. Autant de proies pour les dilophosaures...

DES FOSSILES POUR TOUS

Dans le film *Jurassic Park*, un squelette complet de vélociraptor est mis au jour au... pinceau ! Dans le monde réel, les fossiles dinosauriens se présentent plutôt sous la forme de fragments à peine identifiables. Les jours de chance, il arrive que l'on mette au jour un os presque complet. Avec la publication en 2020 de l'étude anatomique complète réalisée par Adam Marsh, le dilophosaure est désormais le dinosaure du Jurassique inférieur le mieux connu au monde, mais il a fallu des décennies pour en arriver là, et des générations de paléontologues pour interpréter ses ossements fossiles.

Dans cette quête, les muséums d'histoire naturelle jouent un rôle essentiel. Le public les perçoit avant tout comme des espaces d'exposition à l'éclairage sophistiqué, mais leur principale fonction est de mener des recherches en sciences naturelles. À cette fin, ces institutions rassemblent de grandes collections de spécimens qui constituent autant d'indices précieux pour les chercheurs. Des équipes de conservateurs, d'archivistes et de gestionnaires de collections spécialement formés documentent et préservent soigneusement les spécimens, afin que les collections soient accessibles aux chercheurs actuels et futurs. Pouvoir répéter une expérience ou une observation est en effet une exigence fondamentale de la recherche scientifique : quand une découverte est faite, les autres chercheurs doivent pouvoir la corroborer. En paléontologie, cela implique que les fossiles eux-mêmes doivent être conservés, afin de garantir que les futures générations pourront les examiner de nouveau, vérifier et améliorer les observations.

La Nation navajo a des partenariats avec plusieurs muséums qui conservent les fossiles trouvés sur ses terres et les données accumulées sur eux. En 2015, lorsque nous sommes allés repérer l'endroit de la première découverte du dilophosaure, nous avons eu la chance de rencontrer John Willie, un parent de Jesse Williams, le Navajo qui découvrit en 1940 les premiers os fossilisés. John Willie nous a montré le site et nous a expliqué que le peuple navajo accorde une grande importance aux richesses naturelles de son territoire. Le

territoire navajo étant l'un des plus favorables à l'observation de roches du début du Mésozoïque, son département des Ressources minérales a facilité la recherche scientifique, notamment en délivrant des autorisations de prospection, en prêtant des fossiles et en révisant les manuscrits scientifiques.

Le dilophosaure devait se nourrir de tortues et de mammifères archaïques

La science progresse en mettant à profit des connaissances antérieures et en les réévaluant, ce qui s'accompagne parfois du renversement de vieilles idées. Il est passionnant de voir ces savoirs durement acquis s'intégrer à la culture populaire. La paléontologie est étroitement liée au cinéma depuis l'aube de l'animation cinématographique. Au début de son film d'animation *Gertie le dinosaure* de 1914, Winsor McCay visite avec des amis le Muséum américain d'histoire naturelle à New York et observe le squelette d'un dinosaure sauropode. Il parie avec eux qu'il saura redonner vie à l'animal, et c'est ainsi qu'un dinosaure apparaîtra pour la première fois dans un film. Avant de se lancer dans sa reconstitution d'un sauropode, McCay avait consulté les paléontologues du Muséum.

Plus tard, Barnum Brown, le découvreur du *Tyrannosaurus rex*, conseilla Walt Disney lors de la réalisation de son film d'animation *Fantasia* de 1940. Et le studio à l'origine du *Godzilla* de 1954 s'est inspiré des dinosaures figurant sur la fresque murale peinte en 1947 par Rudolph Zallinger au musée Peabody d'histoire naturelle de l'université Yale. Quant à nous, nous sommes déjà impatients de savoir comment la paléontologie sera traduite dans le sixième épisode de la série *Jurassic Park* prévu pour 2022.

On peut remarquer que la culture populaire a, réciproquement, de l'influence sur la marche de la science. Langston racontait que dans les années 1930 et 1940, plutôt que d'acheter de la colle spéciale, fort onéreuse, les paléontologues de l'université de Californie à Berkeley réparaient leurs fossiles à l'aide de colle produite en dissolvant dans de l'acétone les films en acétate qu'utilisait alors l'industrie du cinéma. Ainsi, si le dilophosaure est dans le cinéma, il y a peut-être aussi du cinéma dans le dilophosaure. ■

BIBLIOGRAPHIE

A. D. Marsh et T. B. Rowe, **A comprehensive anatomical and phylogenetic evaluation of *Dilophosaurus wetherilli* (Dinosauria, Theropoda) with descriptions of new specimens from the Kayenta Formation of northern Arizona**, *Journal of Paleontology*, vol. 94 (S78), pp. 1-103, 2020.

R. Lehoucq et J.-S. Steyer, **Les dinosaures de la science-fiction**, *Pour la Science*, n° 426, mars 2013.

E. Buffetaut, **La modernité des dinosaures**, *Pour la Science*, n° 300, octobre 2002.