

> puis les reconstruisons à partir des fragments brisés pour mieux nous rapprocher de leur état d'origine, ce qui peut nous amener à ajouter et à sculpter de la matière en nous inspirant d'animaux apparentés.

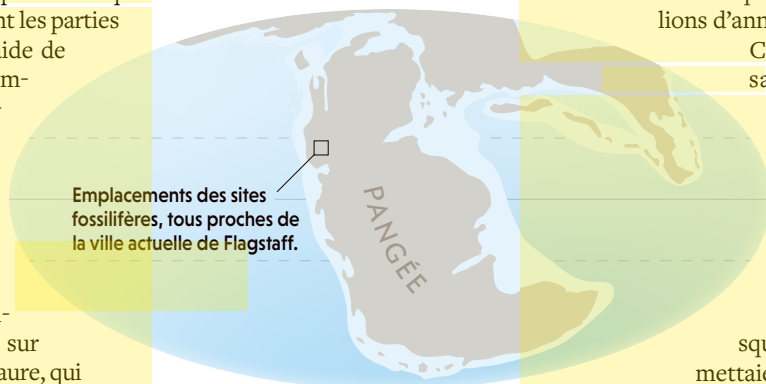
Vers 1950, Wann Langston et des collègues, à Berkeley, ont préparé les premiers squelettes de dilophosaure en comblant les parties manquantes du crâne à l'aide de moulages du crâne plus complet d'un dinosaure carnivore du Jurassique et en sculptant en plâtre les parties manquantes du bassin. Personne ne savait alors à quoi ressemblaient ces parties; ces reconstructions représentaient donc une hypothèse sur la morphologie du dilophosaure, qui restait à vérifier sur de nouveaux fossiles.

Le matériel supplémentaire découvert depuis la description de l'espèce et ses premières reconstitutions montre que le museau et la mâchoire du dilophosaure étaient beaucoup plus puissants qu'on ne l'avait entrevu. Les os du maxillaire ne présentent pas la fragile jonction que suggéraient les premiers fragments découverts. Les nouveaux fossiles indiquent plutôt un crâne robuste, capable de mordre une proie. De même, la mandibule a révélé la présence de crêtes osseuses saillantes. Or chez les reptiles modernes, des crêtes semblables servent à attacher des muscles puissants. Par ailleurs, un squelette de *Saraksaurus*, un dinosaure herbivore, mis au jour sur le même site, porte des traces de morsures, qui attestent de la présence dans les parages d'un gros carnivore à mâchoires assez fortes pour percer l'os.

L'ensemble de ces indices soutient l'idée que le dilophosaure était probablement un prédateur à la morsure mortelle plutôt qu'un animal charognard ou qui utilisait ses griffes pour tuer, comme l'avait supposé Welles.

Le dilophosaure était un grand dinosaure, surtout pour son époque. À peine 20 millions d'années auparavant, les dinosaures du Trias supérieur (237 à 201 millions d'années) de l'ouest de l'Amérique du Nord avaient tous la taille d'une dinde ou d'un aigle. Avec une longueur atteignant 8 mètres et une hauteur de 2,5 mètres, un dilophosaure adulte était un animal impressionnant. Ses membres antérieurs, c'est-à-dire ses bras, étaient bien plus longs et forts que ceux d'autres dinosaures carnivores plus gros, tels que l'allosaure ou le cératosaure, et il avait aussi des jambes relativement plus longues.

Lors de la découverte des premiers dilophosaures, les paléontologues ont cru avoir affaire à une espèce apparentée aux dinosaures prédateurs qu'étaient *Allosaurus* et *Streptospondylus*.



Les fossiles de dilophosaure proviennent tous de deux sites de ce qui est aujourd'hui le nord de l'Arizona. Ils datent du début du Jurassique, peu après que la Pangée a commencé à se disloquer.

Ils ont donc reconstitué les parties manquantes du bassin pour qu'elles ressemblent aux mêmes parties chez ces animaux. Les squelettes de dilophosaure mieux conservés découverts plus tard ont révélé des bassins intermédiaires entre les coelophysidés du Trias supérieur et les allosauridés du Jurassique supérieur (161 à 145 millions d'années).

Comme de nombreux dinosaures primitifs et comme tous les oiseaux modernes, le dilophosaure avait des sacs aériens dans ses vertèbres, c'est-à-dire des sacs d'air faisant partie de son système respiratoire, ce qui le renforçait tout en allégeant son squelette. Ces sacs aériens permettaient une circulation unidirectionnelle et continue de l'air à travers les poumons. Comme chez les oiseaux et les crocodiliens, ce type de respiration fournit davantage d'oxygène que le système respiratoire bidirectionnel des mammifères, qui suppose une inspiration suivie d'une expiration. Les animaux dotés d'un système respiratoire unidirectionnel tendent à avoir un métabolisme de base relativement élevé et donc des niveaux élevés d'activité, de sorte que le dilophosaure était probablement un chasseur vif et agile.

Ses crêtes étaient peut-être des atours sexuels. Ou un trait distinctif...

La tomographie par rayons X a révélé que ces sacs d'air sont aussi présents dans les os entourant le cerveau du dinosaure, en continuité avec les cavités sinusales situées en avant du crâne. Chez la plupart des dinosaures carnivores, une crête osseuse forme un toit au-dessus de l'une des ouvertures du crâne située en avant des orbites, la fenêtre antorbitaire. Chez le dilophosaure, cette ouverture est dans le prolongement des crêtes osseuses de la tête, ce qui suggère que ces crêtes aussi contenaient des sacs aériens. Elles étaient presque certainement recouvertes de kératine, le matériau des cornes, griffes et poils. Les crêtes que portait le dilophosaure sur le crâne étaient peut-être des atours

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 dinosaure. 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 ➤