

des sauropodes. Le cou de *Sauroposeidon*, par exemple, un immense sauropode nord-américain, aurait été constitué de plus de 75 pour cent d'air... Il est également possible que, comme chez les oiseaux, les vertèbres pneumatisées des sauropodes aient renfermé un système de sacs aériens permettant de ventiler les poumons et augmenter l'efficacité de la respiration, afin d'assurer un métabolisme élevé et stable, nécessaire à une croissance rapide et, plus généralement, à la physiologie d'un animal de masse importante.

Comme c'est le cas pour les animaux géants d'aujourd'hui, tels que les grandes baleines ou les éléphants, la taille des sauropodes les avantageait réellement. Bien avant l'âge adulte, de nombreux sauropodes dépassaient la taille d'un éléphant, animal qui, à part l'homme, n'a pratiquement pas de prédateur. Il semble dès lors que les sauropodes adultes n'avaient pas grand-chose à craindre, même des plus grands prédateurs, tel *Allosaurus*.

Indestructibles... ou presque

Certes, leur grande taille les rendait très vulnérables en cas de pénurie de nourriture et d'eau. Cependant, certains auraient développé des solutions à ce problème aussi. Certaines espèces, par exemple *Stegosaurus*, portent sur leur peau des ostéodermes, d'étranges plaques osseuses dotées de piquants, qui constituent le même genre d'armure osseuse que celles couvrant les crocodiliens, certains lézards ou encore les tatous. Cependant, comme il n'a guère été possible de déterminer les endroits où se situaient les ostéodermes sur le corps de ces dinosaures, il est difficile d'être certain de leur fonction.

La solution de ce problème pourrait être proche : nous avons récemment décrit deux ostéodermes découverts à Madagascar dans un squelette juvénile et un squelette adulte de *Rapetosaurus*, une espèce de titanosaure. D'une longueur de 57 centimètres, d'une épaisseur de plus de 27 centimètres et de volume supérieur à dix litres, le spécimen adulte est l'ostéoderme le plus massif jamais découvert chez un animal vertébré. Des tomodensitométries par rayons X et des carottages indiquent que les ostéodermes de *Rapetosaurus* se sont creusés au cours de la vie de cet animal, et qu'à des tailles très grandes, environ cinq litres d'os interne



4. CE FOSSILE DE CAMARASAURUS trouvé au Wyoming (États-Unis) est celui d'une espèce typique du Jurassique supérieur américain. La façon dynamique dont il a été disposé au musée d'Aathal, en Suisse, illustre l'évolution de la représentation des sauropodes : on a cessé de disposer les fossiles de sauropodes dans des positions évoquant l'immobilisme.

ont été remplacés, probablement par du tissu mou. Contrairement au revêtement en « pavés » des ostéodermes que l'on trouve chez les animaux actuels, *Rapetosaurus* (et probablement certains autres titanosaures) ne possédait que quelques grandes plaques.

Les caractéristiques des ostéodermes de *Rapetosaurus* nous ont permis d'écarter plusieurs hypothèses concurrentes sur la fonction des ostéodermes chez les titanosaures. De tels éléments creux n'avaient pas une grande efficacité de blindage, car ils pouvaient se briser sous la force des mâchoires d'un prédateur. De même, le faible rapport surface sur volume de ces éléments et leur répartition clairsemée dans la peau devaient les rendre inutiles pour la thermorégulation.

Nous pensons plutôt que les ostéodermes des titanosaures servaient de réserve minérale afin de leur permettre de maintenir les vitesses de croissance et leur capacité de ponte même pendant les temps les plus durs, tout comme ils le font chez certains animaux actuels, telles les femelles de crocodiles. Chez tous les vertébrés vivants, y compris les humains, les minéraux de l'os sont « sacrifiés » afin de maintenir les niveaux de calcium dans le sang. Ce remodelage s'accroît souvent de façon saisonnière, quand les ressources sont rares, au cours de la ponte des œufs, et avec le vieillissement – ce qui chez l'homme conduit à l'ostéoporose.

Les ostéodermes étaient manifestement très irrigués par des vaisseaux sanguins

qui conduisaient probablement les cellules effectuant le remodelage nécessaire à la libération de minéraux, à commencer par le calcium. Cette hypothèse a du sens s'agissant d'un énorme sauropode vivant à Madagascar à la fin du Crétacé, époque à laquelle de très fortes sécheresses affectaient l'île, au point que certains carnivores, tel *Majungasaurus*, dévoraient les membres de leur propre espèce. Ce manque d'eau a conduit à l'extinction de très nombreuses espèces, depuis les grenouilles et les oiseaux jusqu'aux sauropodes. Les ostéodermes qu'avaient certains d'entre eux pourraient toutefois leur avoir permis de survivre plus facilement aux variations de l'environnement, notamment à des sécheresses prononcées et fréquentes.

Pendant des dizaines de millions d'années, les sauropodes ont non seulement occupé presque tous les recoins de la Terre, mais ils sont aussi allés aux limites des lois biologiques. Leurs vitesses de croissance et les tailles qu'ils atteignaient sont extraordinaires dans le règne animal, mais ces étonnants attributs n'impliquent en rien qu'ils étaient mal adaptés. Du reste, si les sauropodes ont disparu, ce n'est pas à cause de leur prétendue inadaptation, mais à cause d'une crise biotique majeure, durant laquelle la chute d'une grande météorite sur Terre a joué un rôle essentiel. Que des sauropodes aient vécu et se soient diversifiés sur la planète pendant 150 millions d'années représente un énorme succès évolutif, et leur disparition n'y change rien. ■

HISTOIRE DES SCIENCES

Les coniques selon Dürer

Dans sa quête des secrets de la beauté, l'artiste de la Renaissance Albrecht Dürer s'est intéressé à la géométrie des Grecs anciens. Sa méthode de construction des sections coniques a été source d'inspiration tant dans les arts que dans les sciences.

Daniel SILVER

Peintre et graveur de la Renaissance allemande, Albrecht Dürer (1471-1528) ne s'est jamais considéré comme un mathématicien. Néanmoins, il a utilisé la géométrie pour découvrir les secrets de la beauté. Dürer s'est notamment intéressé aux coniques, ces courbes obtenues lorsque l'on coupe un cône par un plan, et à leur représentation. S'il a commis quelques erreurs d'interprétation, il a contribué à diffuser la géométrie des Grecs anciens et, par d'ingénieuses analyses et méthodes de construction, a influencé nombre de savants de son temps, parmi lesquels l'astronome allemand Johannes Kepler. D'où lui est venu cet intérêt pour la géométrie ? En quoi consistait sa méthode pour tracer les coniques et comment l'a-t-il élaborée ? C'est ce que nous allons voir ici.

On loue Léonard de Vinci et d'autres figures de la Renaissance pour avoir embrassé l'art et la science comme un tout. Mais pour des artistes comme de Vinci et Dürer, il y avait peu de science à embrasser. Dessiner et peindre à partir de la nature nécessitait une compréhension de la physiologie et de l'optique plus fine que celle offerte par l'œuvre la plus fiable de l'époque, de l'Arabe Alhazen, diffusée en Occident au XIII^e siècle par le Polonais Witelo. Si Dürer et les artistes de son temps ont entrepris des recherches scientifiques, c'est autant par nécessité que par curiosité.

L'intérêt de Dürer pour les jeunes artistes l'a incité à écrire un manuel ambitieux destiné à donner de bonnes bases mathématiques à tous les artistes débutants. Imprimé à Nuremberg en 1525, trois ans avant la mort de l'artiste, ce manuel intitulé *Instructions*

pour la mesure, à la règle et au compas, des lignes, plans et corps solides a été le premier ouvrage de mathématiques conséquent rédigé en allemand.

Dürer commence son manuel par un clin d'œil à la légende concernant l'inscription qui, à l'entrée de l'Académie de Platon, avertissait « Que nul n'entre ici s'il n'est géomètre » : « Le très perspicace Euclide a rassemblé les fondations de la géométrie. Celui qui les entend bien n'a guère besoin de ce qui suit, car ces choses s'adressent uniquement aux jeunes et à ceux qui n'ont personne pour fidèlement les instruire. »

Un manuel de géométrie pour jeunes artistes

Réparti en quatre livres, le manuel s'ouvre sur la définition d'une droite et se conclut par une discussion de dispositifs mécaniques complexes conçus pour faciliter le dessin de perspectives précises. Entre les deux, on trouve des descriptions de spirales, conchoïdes et autres courbes « exotiques ». Les constructions des polygones réguliers sont données, de même que des modèles de polyèdres « ouverts » [des patrons pour les fabriquer en papier]. Une partie importante est consacrée à la typographie, avec une construction modulaire de l'alphabet gothique. Un artiste qui souhaite dessiner une crosse d'évêque apprend comment le faire avec un compas et une règle...

Si Dürer a écrit son ouvrage dans sa langue maternelle, c'est certes pour le rendre accessible à tous, même à ceux qui ont eu une éducation limitée, mais aussi parce que sa

connaissance du latin — utilisé dans les livres savants — était rudimentaire. Fils d'orfèvre, il aurait pu ne jamais aller à l'école si son père, ayant remarqué son intelligence, ne l'avait envoyé apprendre à lire et à écrire dans une école voisine. L'imprimerie n'avait été inventée que 40 ans auparavant. Les livres étaient encore un luxe et l'apprentissage, un long processus oral à partir d'ardoises ou de tablettes d'écriture en cire.

À 13 ans révolus, Dürer dut quitter l'école et apprendre le métier de son père. Un autoportrait dessiné à l'époque témoigne déjà de son talent artistique. Pourquoi ce fils de commerçant a-t-il alors commencé à étudier les travaux d'anciens géomètres grecs tels qu'Euclide et Apollonius ? Une partie de la réponse réside dans l'atmosphère intellectuelle de Nuremberg à cette époque. En 1470, Anton Koberger avait fondé la première imprimerie de la ville. Un an plus tard, il était devenu le parrain de Dürer. Les sciences et les techniques étaient si appréciées à Nuremberg que l'astronome Johannes Müller — aussi nommé Regiomontanus — s'était établi dans la ville et y avait installé un observatoire dans sa maison.

Le reste de la réponse est apporté par la dédicace des *Instructions pour la mesure* : « À mon très cher maître et ami, Monsieur Wilbolden Pirckheimer je souhaite moi, Albrecht Dürer, salut et prospérité. » Descendant de l'une des familles les plus riches et puissantes de Nuremberg, Pirckheimer était un humaniste cultivé et possédait une bibliothèque inestimable. Sa maison était un lieu de réunions pour les esprits brillants de Nuremberg. Malgré leur différence de rang social, Dürer