

Nos recherches résolvent encore une autre énigme concernant les crocodiliens. Lors de nos mesures de la force de morsure du grand crocodile marin australien, nous avons constaté que les mâchoires de l'animal res-

La pression exercée par les dents du *T. rex* aurait atteint 30 tonnes par centimètre carré

taient resserrées sur le capteur dix minutes durant. Et que lorsqu'on faisait bouger le capteur, l'animal resserrait ses mâchoires avec presque la même intensité que pour la morsure initiale. J'ai personnellement constaté à 22 reprises de tels serrages, et attendu jusqu'à 25 minutes avant de pouvoir récupérer l'équipement – quand le crocodile daigne bien le rendre... Cela nous a conduits à nous interroger sur la signification de ce serrage et sur la façon dont il se produit.

À cette fin, nous avons raccordé un ordinateur à notre appareil de mesure de force de morsure et enregistré la force de serrage tout au long de mesures sur des alligators américains sauvages. Cette série de mesures a montré que les forces de serrage ne valaient qu'environ 10% des forces de morsure maximales. Nous estimons que ce comportement est lié à la façon dont les alligators noient les grandes proies. Dans la nature, les alligators mordent en général fortement leur gibier pour le transpercer puis, la prise étant assurée par les dents, réduisent l'effort et emportent la proie dans des eaux plus profondes pour la noyer. Si elle se débat, les alligators remordent à pleine force.

Les dissections effectuées par Paul Gignac ont révélé que ces capacités de prise et de serrage proviennent d'une remarquable spécialisation physiologique des muscles. Ce chercheur a noté que les puissants muscles refermant les mâchoires sont de couleur blanche, analogues aux muscles pectoraux de la dinde, lesquels peuvent engendrer un effort de courte durée pour le vol, mais s'épuisent rapidement par manque d'approvisionnement en sang. Il découvrit ensuite des muscles rouges et roses permettant en revanche d'assurer une prise durable à faible force. Ils sont

apparentés à la chair foncée trouvée dans les pattes de la dinde, qui sont fortement vascularisées et riches en myoglobine, ce qui rend possible une marche soutenue. Le modèle de Paul Gignac montre que ces muscles foncés non remarqués auparavant engendrent 10% de la force de morsure, juste assez pour garder les dents engagées dans la proie.

Nos travaux peuvent par ailleurs aider à comprendre l'alimentation d'autres animaux que les crocodiliens. Paul Gignac et moi avons utilisé nos résultats afin de mettre au point le premier modèle fiable de la force de morsure du tyrannosaure, *Tyrannosaurus rex*. Les estimations précédentes de la force de morsure de *T. rex* résultaient de modèles fondés sur des alligators, des lézards ou même des mammifères. Les résultats étaient disparates puisqu'ils variaient entre 8200 et 111200 kilogrammes. En revanche, notre modèle, qui est spécifique aux archosaures (le groupe comprenant les crocodiliens, les oiseaux et leurs parents éteints) a donné une valeur d'environ 3600 kilogrammes. C'est le double de ce que peuvent fournir les plus grands crocodiliens actuels. La pression dentaire du *T. rex*, qui atteindrait environ 30000 kilogrammes par centimètre carré, est en outre la plus forte pression jamais estimée chez un animal.

COMMENT LE TYRANNOSAURE PULVÉRISAIT LES OS DE SES PROIES

Ces nouvelles estimations, publiées en 2017, ont résolu la question sur la façon dont, comme l'indiquent les preuves fossiles, ce dinosaure emblématique pulvérisait les os de ses proies. Aujourd'hui, seuls les mammifères carnivores dont les dents supérieures et inférieures viennent en contact complet (occlusion) lors de la mastication peuvent accomplir un tel exploit.

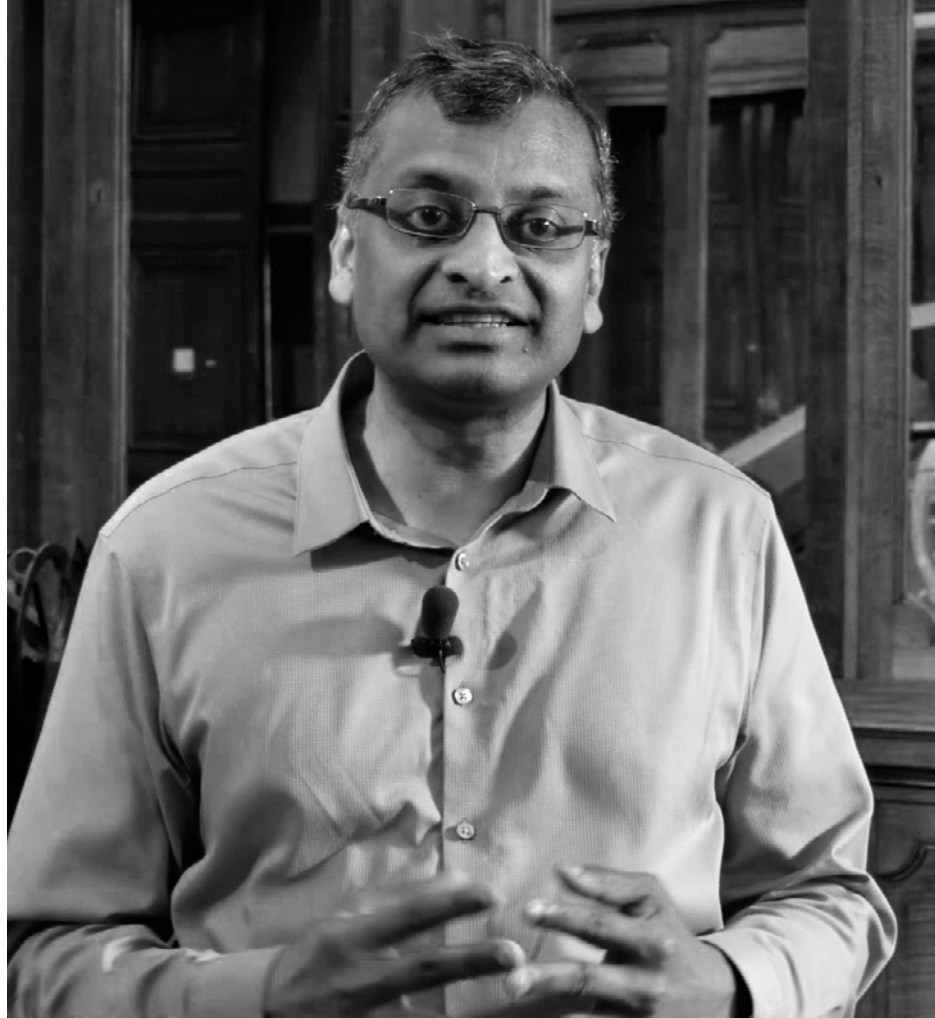
Si nous avons beaucoup progressé dans la compréhension du succès évolutif des crocodiliens, de nombreuses questions subsistent. Par exemple, il est possible que l'influence de la forme de leur museau sur la force de morsure diffère sous l'eau. Un point dont l'étude impliquera de répéter nos expériences, ce qui est plus facile à écrire qu'à faire: il nous faudra mettre au point de nouveaux appareils de mesure fonctionnant en milieu aquatique et nous associer à des ingénieurs pour comprendre comment l'écoulement de l'eau pourrait jouer sur la vitesse de fermeture des mâchoires et la force de morsure. Bien entendu, il nous faudra aussi mettre au point de nouveaux protocoles de sécurité en n'oubliant pas que, sous l'eau, les crocodiliens sont dans leur élément et qu'ils sont donc plus dangereux. Nous allons y arriver, même si cela nous demandera sans doute beaucoup de temps et d'efforts. ■

BIBLIOGRAPHIE

P. M. Gignac et G. M. Erickson, **The biomechanics behind extreme osteophagy in *Tyrannosaurus rex***, *Scientific Reports*, vol. 7, article 2012, 2017.

G. M. Erickson et al., **Insights into the ecology and evolutionary success of Crocodilians revealed through bite-force and tooth-pressure experimentation**, *PLoS One*, vol. 7(3), article e31781, 2012.

**ALAIN
DORESSOUDIRAM**
est astrophysicien au
Laboratoire d'études spatiales
et d'instrumentation
en astrophysique (Lesia)
de l'Observatoire de Paris.
Il est responsable d'un
des instruments scientifiques
de la mission *BepiColombo*.



Mercure est bien loin d'être une Lune-bis

Le lancement de la mission spatiale *BepiColombo* est prévu pour ce mois d'octobre ou de novembre. Objectif : la planète Mercure, autour de laquelle les deux sondes embarquées se mettront en orbite en 2025. À quelles questions cette mission, la troisième seulement à visiter la planète la plus proche du Soleil, va-t-elle répondre ? Les explications de l'astrophysicien Alain Doressoundiram.

De toutes les planètes rocheuses du Système solaire, Mercure est celle qui a été la moins visitée. Pourquoi ?

Jusqu'à présent, seules deux sondes ont survolé Mercure: *Mariner 10* entre 1974 et 1975, puis *Messenger* entre 2011 et 2015. *BepiColombo* sera donc la troisième sonde à visiter la planète la plus proche du Soleil. La première raison à cette rareté des explorations est qu'on a longtemps pensé que Mercure était juste une «Lune-bis», donc un corps *a priori* pas très intéressant. On sait maintenant que c'est tout le contraire: Mercure est très surprenante.

La seconde raison est technique. Même si Mercure est à environ 60 millions de kilomètres du Soleil et qu'elle n'est donc *a priori* pas si lointaine de la Terre (laquelle est à peine 2,5 fois plus distante de l'astre du jour), envoyer une sonde pour la mettre en orbite autour de Mercure demande beaucoup d'énergie. C'est donc une mission coûteuse, comparable aux missions qui explorent les parties externes du Système solaire.

Pourquoi faut-il beaucoup d'énergie ?

Lorsqu'elle se rapproche du Soleil, la sonde gagne en vitesse, puisqu'elle tombe vers l'étoile. Il faut donc freiner pour réduire la vitesse à environ 13 kilomètres par seconde, de façon que la sonde soit capturée par la gravité de Mercure. Et pour freiner, il faut de l'énergie. On pourrait utiliser des systèmes de propulsion classiques avec du carburant. Mais cela coûterait beaucoup trop cher, sachant que le carburant représente une grande part de la masse de la sonde au moment du décollage.

Quelle est donc la solution ?

Pour freiner, on adopte une autre approche: l'assistance gravitationnelle. Le parcours de la sonde est calculé de telle sorte qu'elle frôle une planète et mette à profit son champ gravitationnel afin de gagner ou perdre de la vitesse (selon la façon dont on s'approche de la planète). C'est une stratégie très utilisée dans l'exploration du Système solaire. Par exemple, la sonde *Rosetta* a profité de plusieurs assistances gravitationnelles pour atteindre la comète Tchouri après plus de dix ans de voyage. Avec neuf assistances gravitationnelles (un survol de la Terre, deux de Vénus et six de Mercure elle-même avant la mise en orbite), *BepiColombo* établit un record; cela explique aussi pourquoi la sonde mettra sept ans pour arriver à destination.

Pourquoi la mission BepiColombo a-t-elle été nommée ainsi ?

En hommage justement au scientifique italien Giuseppe «Bepi» Colombo, un spécialiste de l'assistance gravitationnelle. Il avait conçu la trajectoire de la sonde *Mariner 10*, qui a ainsi effectué trois survols de Mercure au lieu d'un grâce à l'assistance gravitationnelle. Ce

chercheur a aussi expliqué la résonance gravitationnelle particulière de Mercure, notée 3:2. La planète réalise trois tours sur elle-même (le jour mercurien dure 58,6 jours terrestres) en exactement deux révolutions autour du Soleil (une année mercurienne dure 88 jours terrestres). Ce phénomène s'explique par la proximité de Mercure au Soleil et les forces de marée qu'exerce l'étoile sur la planète. C'est le même mécanisme qui fait que la Lune présente toujours la même face à la Terre: notre satellite tourne sur lui-même en un temps exactement égal à celui qu'il lui faut pour faire un tour complet autour de la Terre.

Pourquoi pensait-on que Mercure était similaire à la Lune et donc d'un intérêt limité ?

Les premières images de la surface de Mercure, prises par *Mariner 10*, ont montré qu'elle est couverte de cratères d'impact. Quelque chose donc de très similaire à la Lune. Et par certains aspects, Mercure était même moins palpitante. Par exemple, on n'observait aucune trace d'activité volcanique actuelle ou passée, alors que les mers lunaires sont d'anciens bassins remplis de magma qui s'est refroidi. Mercure semblait donc assez inerte et bien moins intéressante que Mars, Vénus ou les géantes gazeuses.

Le seul point dans les observations de *Mariner 10* qui suscitait un peu de curiosité était la présence d'un champ magnétique planétaire. Son intensité était estimée à environ 1,1% de celle du champ magnétique terrestre. C'est suffisant pour dévier le vent solaire (le flux d'ions et d'électrons éjectés par la haute atmosphère du Soleil) et constituer une magnétosphère. Mais les données de la sonde étaient insuffisantes pour dire s'il s'agissait d'un champ rémanent, c'est-à-dire un champ magnétique qui aurait été préservé lors de la solidification de roche fondue, ou d'un champ magnétique actif.

Finalement, c'est un peu pour toutes ces raisons, coût de la mission et faible intérêt scientifique, qu'il a fallu attendre plus de trente ans pour qu'une nouvelle sonde, *Messenger*, aborde Mercure.

Et les observations de Messenger ont créé la surprise ?

À plus d'un titre! Les résultats des sept instruments scientifiques embarqués sur *Messenger* ont soulevé de nombreuses questions. L'une des plus importantes concerne le champ magnétique. La sonde a confirmé que le champ de Mercure est actif et qu'il est de même nature que celui de la Terre. Cela signifie qu'il est créé par un noyau de fer liquide dont les mouvements de rotation, de convection et de turbulence engendrent un effet dynamo. Or cette observation pose des questions. Pourquoi la Terre et Mercure ont-elles un champ magnétique alors ➤