



Un crocodile américain (*Crocodylus acutus*) aux dents impressionnantes croise nonchalamment dans les eaux de l'archipel des Jardines de la Reina, au sud de Cuba.

L'ESSENTIEL

> Les crocodiliens, le groupe rassemblant les espèces apparentées aux crocodiles, règnent sur les rives depuis des dizaines de millions d'années.

> L'étude de la mécanique de leurs mâchoires et de leurs

régimes alimentaires fournit les clés de leur succès évolutif.

> Ces recherches aident à comprendre les habitudes alimentaires d'autres animaux, dont les dinosaures.

L'AUTEUR



GREGORY M. ERICKSON
professeur de paléobiologie
et d'anatomie à l'université
de Floride, aux États-Unis

Les crocodiliens, champions de la morsure

Avec quelle force mord un crocodile marin, un caïman ou un gavial ? Pendant près de vingt ans, des chercheurs se sont attachés à la mesurer... à leurs risques et périls ! Les résultats éclairent le succès évolutif des crocodiliens et, par ailleurs, laissent penser que la pression dentaire du tyrannosaure avoisinait 30 tonnes par centimètre carré.

Par une torride journée d'été à Darwin, en Australie, je me tiens à trois mètres d'un spécimen du plus grand reptile actuel : un crocodile marin. Long de 5,2 mètres, ce mâle pèse environ 570 kilogrammes (certains de ses congénères dépassent la tonne). Il me fixe de ses yeux inquiétants semblables à ceux d'un chat tandis que, périodiquement, sa poitrine se soulève juste avant que ses narines n'exhalent explosivement un jet bruyant, qui fait penser à une locomotive à vapeur.

Nous sommes peut-être en train de pousser nos recherches au-delà du raisonnable, me dis-je... Je me suis déjà approché de nombreuses reprises de crocodiles, mais jamais d'un tel géant. Dégoulinant de sueur et armé seulement d'un appareillage électronique et d'une perche en PVC de 1,2 mètre de long portant à son bout un capteur pour mesurer la force de la morsure de l'animal, je

m'approche par le côté à une soixantaine de centimètres de sa tête. Le crocodile s'agite, ouvre la gueule, exhibant 64 énormes dents pointues, et siffle, dantesque avertissement de ne pas s'approcher davantage. C'est le signal que j'attends : j'avance la perche et place le capteur de force à l'arrière de la gueule, entre les deux mâchoires. L'animal claque celles-ci instantanément, ce qui émet un bruit sourd faisant penser à l'écho d'un canon. Le choc m'arrache presque la perche des mains. Puis, c'est le silence.

Je rassemble alors mes esprits et tente de réaliser ce qui vient de se passer. Le reptile est parfaitement immobile, tout va bien pour moi et le matériel semble intact. À ma grande satisfaction, le capteur de force est parfaitement pris en sandwich entre les dents arrière du crocodile. « Bonne morsure », dis-je alors à Kent Vliet, mon collègue de l'université de Floride qui, debout derrière moi, tient l'appareil enregistrant le résultat. « Quelle était la force ? » ➤

> Il répond: «1680 kilos!» Notre équipe et des badauds intéressés discutent avec animation du chiffre tandis que, tout en maintenant ma perche, j'attends que le crocodile libère le capteur. Une fois en sécurité, mon taux d'adrénaline redescend et je me rends compte de ce que nous venons de faire: mesurer la plus grande force de morsure jamais enregistrée chez un animal.

Cette étouffante journée australienne a constitué le point culminant de la série de recherches que je mène avec des collègues depuis dix-sept ans afin de comprendre la biomécanique de l'alimentation des crocodiliens, ordre de reptiles qui comprend aujourd'hui les crocodiles, les gavials, les alligators et les caïmans. Depuis plus de 85 millions d'années, ces superprédateurs dominent les eaux douces littorales et les estuaires des régions tropicales et tempérées chaudes. Les paléontologues s'interrogent depuis longtemps sur les raisons de leur succès évolutif. Or non seulement nos résultats expliquent la domination des crocodiliens actuels dans leurs habitats, ils élucident aussi comment leurs ancêtres en sont venus à régner sur les rives.

Les nombreux fossiles de crocodiliens montrent que la forme de leurs corps est restée en grande partie inchangée depuis des millions d'années. Leur taille a cependant

1 à 7 mètres. Et leurs museaux sont aussi variés que ceux des crocodiliens fossiles, chaque forme correspondant à un certain régime alimentaire. Les chercheurs distinguent ainsi: les museaux moyens à larges dents des crocodiliens à régime généraliste; les museaux étroits à dents fines et pointues des mangeurs de poissons ou de petites proies; les museaux larges et à grosses dents des mangeurs de mollusques et autres proies dures; et les museaux de chien de ceux qui se nourrissent en partie à terre. Ainsi, le rapprochement de la mécanique des mâchoires et du régime alimentaire des crocodiliens pourrait nous aider à mieux comprendre la survie de ces remarquables prédateurs ainsi que l'histoire de leurs ancêtres.

À l'époque où nous avons démarré nos recherches, les interprétations du museau, des types de dentition et des variations de taille n'étaient fondées que sur la spéculation et la modélisation, et très peu sur des données empiriques. Plusieurs raisons expliquaient ce manque de données: menacés par la surchasse, de nombreux crocodiliens sont difficiles d'accès; travailler auprès d'eux est dangereux; et pour couronner le tout, il n'existait aucune méthode de mesure des forces de morsure et des pressions exercées par les dents, ce qui est pourtant essentiel pour bien comprendre la mécanique des mâchoires. Cela allait changer.

En 2001, le producteur d'un film du *National Geographic* m'a contacté pour me demander si je saurais calculer la force de la morsure de *Sarcosuchus*, un crocodile géant du Crétacé (145 à 66 millions d'années). Long de 12 mètres, ce proche parent des crocodiles actuels a été découvert au Niger en 1964 par Philippe Taquet, l'ancien directeur du Muséum d'histoire naturelle à Paris. Puis, en 2000, dans le cadre d'une expédition du *National Geographic*, Paul Sereno, de l'université de Chicago, en ramena un squelette particulièrement complet.

J'ai répondu au producteur que je serais capable de déterminer la force de morsure de *Sarcosuchus* si je pouvais expérimenter sur des crocodiliens vivants. C'est pourquoi j'ai immédiatement appelé Kent Vliet pour lui proposer de mener avec moi une série d'expériences, car il est aussi le conseiller scientifique du Parc zoologique aux alligators de Saint Augustine. Ce parc d'attractions de Floride, l'un des plus anciens au monde, est aussi le seul établissement qui abritait les 23 espèces de crocodiliens connues alors.

J'avais l'intention d'abord de déterminer les forces de morsure et les pressions dentaires de chacune des espèces actuelles de crocodiliens sur des spécimens du parc, afin de vérifier que les valeurs observées dans les élevages permettent aussi d'estimer les performances des animaux sauvages. Je prévoyais ensuite de

Nous venions de mesurer la plus grande force de morsure jamais enregistrée

beaucoup varié, puisque des formes naines (moins de 1 mètre) ou géantes (plus de 9 mètres) sont maintes fois apparues dans le registre fossile. Chaque changement de la taille s'est accompagné de modifications du museau et des dents. De toute évidence, une grande partie des clés du succès évolutif des crocodiliens résident dans la forme, la fonction, la performance et la pertinence alimentaire du museau et des dents, sur lesquels il s'agit donc de récolter des informations.

Par chance, les 24 espèces actuelles de crocodiliens présentent, comme les espèces fossiles, un large spectre de tailles qui va de

comparer les données prélevées sur les animaux en captivité avec les résultats de mesures effectuées sur des animaux en liberté. Pour compléter, je prévoyais aussi des dissections et des expériences de stimulations musculaires sur des alligators, afin de pouvoir établir un modèle de la morsure chez les crocodiliens fossiles. Toutes les données recueillies devaient aussi servir à restituer les modes d'alimentation des crocodiliens éteints et d'espèces apparentées, les dinosaures par exemple.

Très vite, le propriétaire du Parc zoologique aux alligators de Saint Augustine nous accorda son autorisation, tandis que *National Geographic* apportait les fonds nécessaires. Il ne nous restait plus qu'à déterminer comment prélever nos données rapidement, avant le tournage du film.

DÉVELOPPER LES APPAREILS DE MESURE, ÉTABLIR LE PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

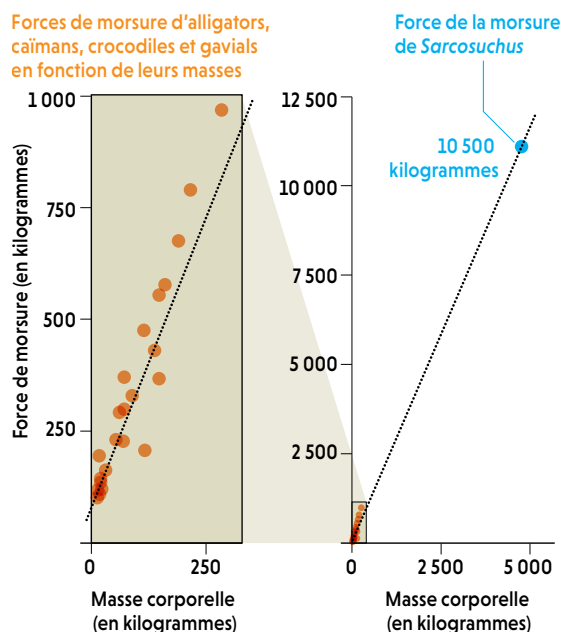
Comment mesurer la force de la morsure d'un crocodile? Je l'ignorais. Du reste, personne n'avait jamais mesuré directement cette force chez un gros animal et encore moins chez ces énormes carnivores! Ma seule expérience d'un travail comparable avait consisté, pendant mes études doctorales, à mesurer les forces de morsure de petits lézards à l'aide de pincettes équipées de jauges permettant d'évaluer la force requise pour les serrer. Je me suis donc attaché l'aide d'un ingénieur avec qui j'avais déjà travaillé à l'université Stanford, et par ailleurs celle d'un ingénieur d'études de chez Kistler. Cette société produit en effet des dispositifs enregistrant les forces de compression, sorte de transducteurs couramment utilisés dans l'industrie pour tester la résistance de matériaux. Ensemble, nous avons conçu des capteurs de force de morsure portables, adaptés aux mâchoires des crocodiles et à l'épreuve de l'eau.

Ces appareils, qui coûtent jusqu'à 10 000 euros, ressemblent à de petits pese-personne, mais sont bien plus précis. Nous avons relié chacun d'eux à un amplificateur de charge comportant un affichage et l'avons fixé au bout d'une perche en plastique. Nous avons aussi matelassé les dispositifs obtenus à l'aide d'épaisses couches de cuir, afin que les animaux aient leurs sensations habituelles de morsure et afin de ne pas endommager leurs dents. Ce détail devait se révéler plus important qu'anticipé, l'un de mes collègues ayant depuis montré que les crocodiliens ne mordent de toute leur force que si leurs dents viennent au contact d'un matériau qui n'est pas trop dur.

Une fois notre dispositif de mesure au point, il restait à établir un protocole d'étude. Aussi me suis-je associé avec les praticiens des crocodiles que sont Kent Vliet et John Brueggan, directeur

À MASSE ÉGALE, MORSURE ÉGALE

Les crocodiliens peuvent avoir des tailles variables et des museaux très différents. Les spécialistes pensaient que ceux dont les museaux sont fins mordaient moins fort que ceux dont les museaux sont puissants, mais les mesures révèlent que tous ont la même force de morsure, si on la ramène à une même masse corporelle. Cette force, d'intensité impressionnante, est proportionnelle à la masse du crocodilien. Cette relation de proportionnalité permet de calculer les forces de morsure de crocodiliens éteints, tel *Sarcosuchus*, dont le corps mesurait plus de 12 mètres.



du Parc de Saint Augustine, pour concevoir une façon d'atteindre nos objectifs de recherche sans trop stresser les animaux. Le plan que nous avons élaboré, et qui a fonctionné d'emblée, consiste à attraper les animaux au lasso dans leur enclos, à les transporter à l'extérieur de façon sûre par un groupe de personnes, à libérer ensuite leurs mâchoires qui, invariablement, s'ouvrent alors, et enfin à placer le capteur entre leurs dents postérieures (l'équivalent des molaires), là où les forces de morsure sont maximales.

Pendant tout ce processus, un dresseur doit se tenir sur le dos de l'animal et maintenir sa tête droite afin d'éviter qu'il ne tente de se rouler. Si l'animal y parvenait, le résultat de la mesure risquerait de ne pas refléter la seule contribution des muscles de la mâchoire: les forces supplémentaires que le corps massif du reptile appliquerait alors sur le capteur fausseraient la mesure.

Nous prévoyions aussi de peser chaque animal et mesurer sa longueur, ce qui n'est que rarement fait lorsqu'on étudie de gros animaux ➤

> sauvages. Nous pensions en effet qu'il serait important, quelle que soit la taille d'un crocodilien, de rapporter la force de morsure mesurée à la masse de l'animal, car cela nous permettrait de faire des comparaisons avec les forces mesurées sur d'autres espèces, quelle que soit la forme de leurs corps.

L'ensemble du processus revient en quelque sorte à faire du rodéo sur taureau, sauf qu'un professionnel de ce sport à qui j'en parlais m'a dit ne vouloir en aucun cas essayer, car les «taureaux, au moins, ne reviennent pas vous dévorer». Il m'est arrivé aussi de maîtriser et mesurer la force de morsure d'un alligator de quatre mètres en compagnie de George Saint-Pierre, un Québécois qui, aux États-Unis, passe pour le plus grand spécialiste du combat libre de tous les temps. Or George a ensuite déclaré que nous étions des fous et qu'il avait vécu là l'expérience la plus effrayante de sa vie!

En fait, ceux qui travaillent étroitement avec des crocodiles ne les trouvent pas particulièrement dangereux. Cependant, les croco-

communément que la force de morsure reflète de façon fiable l'efficacité de prédation d'un animal muni de dents. Il ne s'agit toutefois que d'une indication indirecte de quelque chose qui n'est pas directement mesurable (ici l'efficacité prédatrice). Afin de juger de l'efficacité avec laquelle un crocodilien chassera avec succès les proies qu'il rencontre à l'interface terre-eau, le paramètre biologique le plus pertinent dans notre cas est la pression dentaire. Cette grandeur indique si les dents peuvent vraiment pénétrer dans la chair, c'est-à-dire dans un bloc composé de peau, de cuticule, de coquille, d'os, etc. Les pressions exercées par les couronnes dentaires (la partie de la dent qui dépasse de la gencive) cisailent les tissus et y créent des fissures ou des perforations, qui s'ouvrent d'autant plus que la force de morsure est élevée. Un crocodilien peut ainsi soit mettre immédiatement à mort une proie, soit s'assurer une prise solide afin de la noyer.

DES MOULAGES POUR ESTIMER LA PRESSION EXERCÉE PAR LES DENTS

Pour estimer la pression dentaire après chaque prise de mesure de la force de morsure, nous glissons une planche entre les mâchoires de l'animal, que nous maintenions fermées. J'en profitais pour prélever une empreinte des dents à l'aide de mastic dentaire. La planche bloque tout réflexe de morsure que pourrait avoir le crocodile en réaction au contact de ses dents avec un matériau, mes mains par exemple... Mais même après avoir réalisé des centaines de moulages dentaires, l'idée d'avoir à en faire encore un me fait frémir: mettre ses mains dans la gueule d'un crocodile est en effet contraire à l'instinct le plus élémentaire!

Une fois au laboratoire, nous tirions des empreintes obtenues des moules des dents, puis de ces derniers les superficies de contact de leurs pointes. En divisant la force de morsure par les valeurs obtenues, nous en déduisions les pressions dentaires.

Ce que nous avons appris au cours de l'étude de plus de 500 individus, représentant toutes les espèces de crocodiliens actuels, remet en cause une partie des connaissances admises sur ces animaux. Auparavant, les spécialistes de ces animaux prédisaient des différences importantes entre les forces de morsure de diverses espèces crocodiliennes. Les animaux dotés de museaux fins, de fines dents et qui se nourrissent de proies tendres telles que les poissons étaient supposés mordre avec des forces assez faibles, tandis que ceux munis de crânes massifs et de dents capables de broyer os et coquilles étaient censés mordre avec des forces élevées.

Au lieu de cela, nous avons constaté que tous les crocodiliens peuvent mordre très fortement. Nos chiffres révèlent que, à l'exception



L'auteur, Gregory Erickson, en train de mesurer la force de morsure d'un alligator.

diles les plus imposants nous arrêtent un peu, et même un petit crocodile peut vous arracher le bras si vous ne faites pas assez attention. Comme les vétérinaires avec les chiens, nous avons appris à lire le comportement d'un crocodilien et à le manipuler sans lui faire de mal et sans qu'il en fasse. Les règles fondamentales sont de se tenir à distance des extrémités pointues et d'éviter d'être au bord de l'eau. Les crocodiliens sont en effet extrêmement furtifs; même un crocodile de cinq mètres de long peut passer inaperçu dans une eau peu profonde et en jaillir brutalement pour vous attaquer...

La mise au point de notre protocole de mesure exigeait de régler la question de l'interprétation des données. On considère

du gavia, qui est piscivore, les crocodiliens présentent les mêmes forces de morsure par unité de masse corporelle, indépendamment du régime alimentaire et de la grosseur du museau. Les forces de morsure les plus élevées de notre échantillon vont jusqu'à 1700 kilogrammes environ (les forces sont exprimées ici en unités de masse, un kilogramme équivalant à 9,81 newtons, son poids sur Terre). Ces valeurs éclipsent complètement celles mesurées chez certains mammifères carnivores tels que la hyène tachetée (environ 630 kilogrammes), le lion et le tigre (environ 450 kilogrammes). À titre de comparaison, les forces de morsure d'un humain atteignent seulement 90 kilogrammes. On me demande souvent si l'on peut s'extraire des mâchoires d'un crocodile ou d'un alligator. La force de morsure d'un grand crocodilien équivaut au poids d'une voiture, de sorte que je réponds que pour s'en sortir, il faut être capable de soulever une voiture...

Tous les biologistes connaisseurs des crocodiliens avec qui j'avais discuté avant de mener ces travaux affirmaient que les alligators sauvages – très vifs et tout en dents et griffes, car ils doivent lutter pour survivre – mordaient avec une force supérieure à celle de leurs congénères en captivité, souvent obèses et léthargiques. Au lieu de cela, nous avons découvert qu'à poids égal, ils serrent tous leurs mâchoires avec la même puissance. Cette constatation a l'intérêt de montrer que l'on peut utiliser les données obtenues sur les animaux en captivité pour estimer les performances des crocodiliens sauvages et celles des formes fossiles.

Lorsque nous avons extrapolé nos résultats pour estimer la force de morsure de *Sarcosuchus* et de certains crocodiliens géants du passé, nous avons trouvé des valeurs tournant autour de 10 000 kilogrammes, soit le poids d'un petit camion. À l'autre extrémité du spectre, nous avons aussi estimé la force de morsure de *Procaimanoidea*, un crocodilien de seulement 0,75 mètre de long qui vivait il y a quelque 40 millions d'années; nous avons trouvé 64 kilogrammes. Mon ancien doctorant, Paul Gignac, aujourd'hui maître de conférences à l'université d'État de l'Oklahoma, s'est servi de ces données pour évaluer la force de morsure des crocodiliens au cours de leur évolution.

UNE MÊME ARCHITECTURE MUSCULAIRE DEPUIS 85 MILLIONS D'ANNÉES

Nos trouvailles ont plusieurs conséquences concernant l'évolution des crocodiliens. Elles montrent d'abord que tout au long des 85 millions d'années de leur domination, ces gardiens des rives ont conservé la même architecture des muscles fermant les mâchoires. Elles conduisent aussi à une

nouvelle vision de la façon dont les crocodiliens ont, à plusieurs reprises, acquis les cinq formes principales de museau et de dents et les habitudes écologiques associées. On pourrait comparer les crocodiliens à des cisailles à gazon: si l'on souhaite disposer dans son jardin de plus de puissance, il suffira de passer à un modèle à plus gros moteur. De même, chaque fois que c'était avantageux dans un milieu donné, les crocodiliens ont acquis de

Les pressions dentaires des crocodiliens sont sans égales chez les autres animaux actuels

plus grandes tailles. Pour passer de la coupe d'herbe à des usages plus spécialisés comme la taille d'une haie ou l'élagage d'un arbre, il s'agit de changer d'outil coupeur. De même, les crocodiliens ont pu se spécialiser sur différentes proies grâce à la modification de leurs mâchoires et leurs dents.

Les pressions dentaires mesurées complètent cette vision. Comme les forces de morsure, les pressions dentaires des crocodiliens sont sans égales chez les autres animaux actuels, et elles augmentent avec la taille. Les valeurs trouvées varient entre 1 400 et 25 100 kilogrammes par centimètre carré, ce qui pulvérise le précédent record, à savoir 1 490 kilogrammes par centimètre carré chez *Dunkleosteus*, un poisson fossile géant. Nos résultats suggèrent que les régimes «généralistes» qui ont fait le succès des crocodiliens (aucun n'a de régime strictement spécialisé) ont été possibles du fait qu'ils sont tous capables de croquer les organismes vivant dans leurs environnements. Les différentes formes de dents rendent simplement possibles de plus ou moins grandes pressions en fonction du degré de spécialisation d'une espèce, ce qui augmente son efficacité de prédation sur les proies à chair tendre, tels les poissons, ou au contraire dures, tels les coquillages.

Sachant cela, mes étudiants et moi avons commencé à examiner de plus près les facteurs contribuant à la force de morsure. En 2010, Paul Gignac a étudié les muscles d'alligators >

> américains pour mettre au point un moyen de prédire avec précision la contribution de chaque muscle aux forces de morsure. Tous les crocodiliens ont ce qui apparaît au premier coup d'œil comme étant des muscles du cou protubérants. Il s'agit des muscles dits ptérygoïdes médians, qui font partie des muscles impliqués dans la fermeture des mâchoires. Chez la plupart des animaux, les ptérygoïdes médians sont petits et n'apportent que peu de force. Chez les crocodiliens, ils engendrent 60% de la force de morsure.

Les animaux capables de mordre fortement ont en général des muscles temporaux élargis, au-dessus des mâchoires. Situés sur la tempe, les muscles temporaux deviennent saillants quand nous mordons. Chez les crocodiliens, en revanche, ce sont plutôt les ptérygoïdes médians, situés sous les mâchoires et émergeant en bas des côtés du cou, qui se sont renforcés. Pourquoi? La réponse est liée à la façon de chasser des crocodiles, qui sont remarquablement doués pour s'approcher furtivement de leur proie et la saisir dans les eaux peu profondes proches de la rive. En général, lors de leur approche, seule une petite partie de leur tête émerge, qui ne comprend que les narines pour respirer, les yeux pour voir et les

oreilles pour entendre. Le reste du corps de ces géants reste immergé jusqu'à ce que le prédateur jaillisse sur la proie. Or s'ils avaient développé des muscles temporaux puissants sur les côtés de la tête, les crocodiliens auraient été moins furtifs qu'ils ne le sont avec des adducteurs des mâchoires puissants, mais cachés sous l'eau.

Les études menées par Paul Gignac sur les muscles impliqués dans la force de morsure des crocodiles répondent à une question. Dans nos expériences initiales, le gavia, un mangeur de poissons au museau étroit et aux dents fines très pointues, présentait des forces de morsure aberrantes. Ces forces n'étaient que de l'ordre de la moitié de ce qui est normal chez un crocodile. Paul Gignac a disséqué un gavia et découvert que ses ptérygoïdes médians étaient relativement petits, mais que les muscles fermant la mâchoire supérieure étaient relativement gros pour un crocodilien. Cette disposition favorise la vitesse de fermeture de la mâchoire au détriment de la force de morsure. Nous pensons que le gavia, l'espèce de crocodiliens la plus piscivore, a sacrifié la force de morsure au bénéfice de la vitesse, nécessaire pour saisir des poissons.

Le gnou n'a pas vu venir l'attaque du crocodile dissimulé sous l'eau, seuls les yeux, les ouïes et les narines surnageant. Le grand prédateur a raté sa proie. S'il avait réussi, il aurait lutté pour l'entraîner sous l'eau. Les attaques de crocodiles sont si vives que la plupart des animaux et des humains ne parviennent pas à réagir à temps. Plusieurs centaines de personnes en meurent chaque année en Afrique et en Asie du Sud-Est.



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.

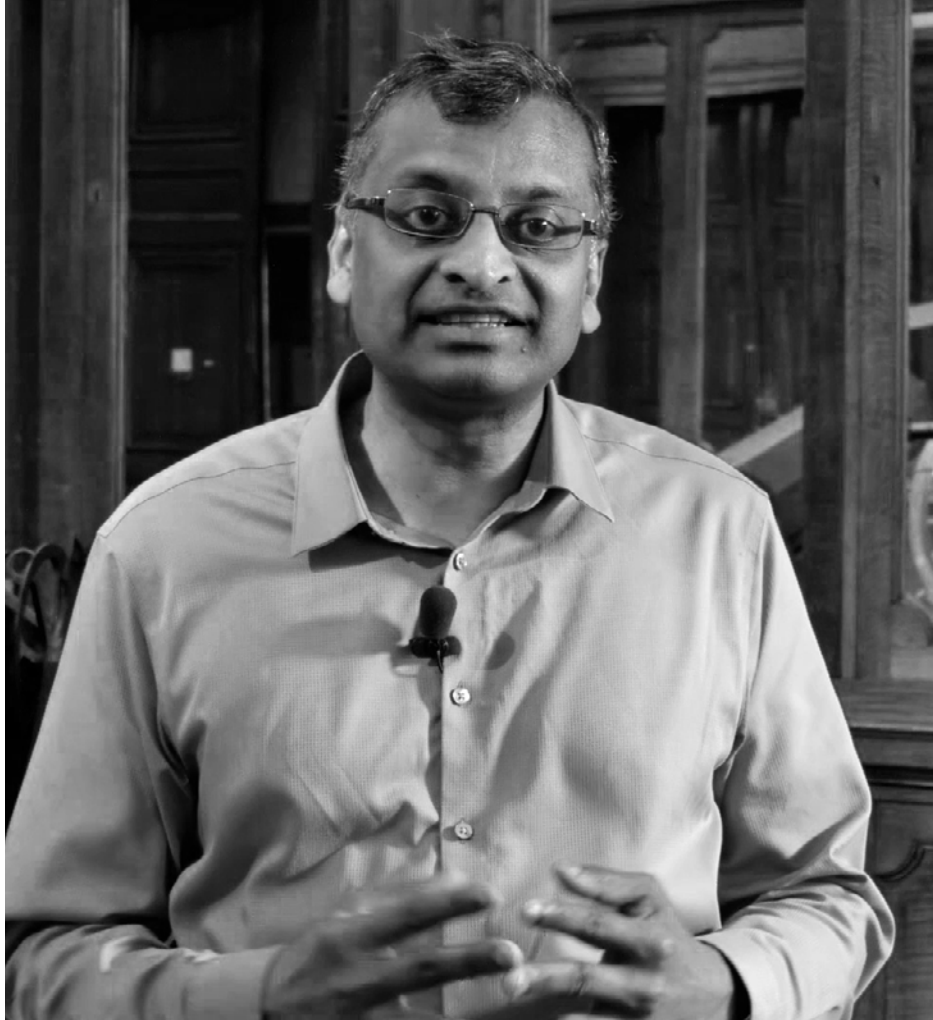
Si nous avons beaucoup progressé dans la compréhension du succès évolutif des crocodiliens, de nombreuses questions subsistent. Par exemple, il est possible que l'influence de la forme de leur museau sur la force de morsure diffère sous l'eau. Un point dont l'étude impliquera de répéter nos expériences, 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.