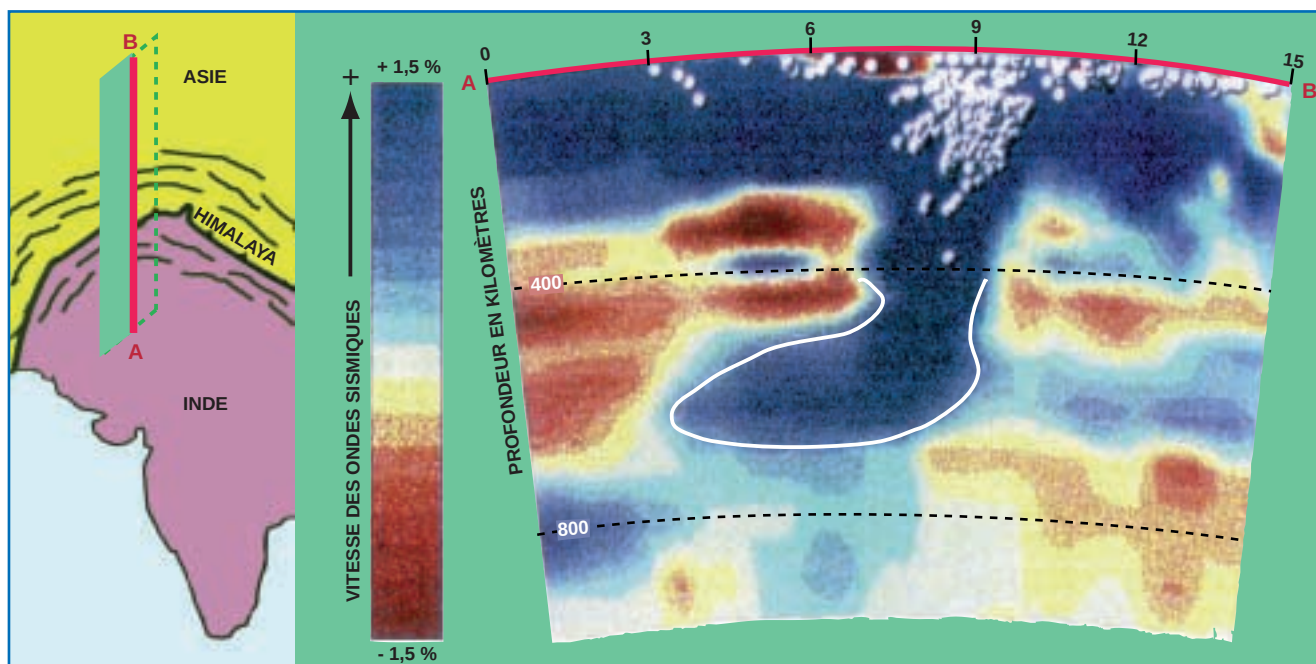




4. PROFIL TOMOGRAPHIQUE perpendiculaire à la partie Ouest de la chaîne himalayenne, montrant l'enfoncement de la plaque continentale de l'Inde. Cette figure de Harmen Bijwaard, est reproduite avec l'autorisation des auteurs. Cette coupe relativement superficielle a été complétée, vers le bas, jusqu'à plus de 2 000 kilomètres, par Van der Voo et al., 1999. Les taches blanches correspondent aux épicentres des gros séismes qui se sont produits depuis 40 ans dans la croûte terrestre, en réponse à l'avancée de l'Inde.

cielle a été complétée, vers le bas, jusqu'à plus de 2 000 kilomètres, par Van der Voo et al., 1999. Les taches blanches correspondent aux épicentres des gros séismes qui se sont produits depuis 40 ans dans la croûte terrestre, en réponse à l'avancée de l'Inde.

dans l'asthénosphère. Aussi les géologues pensaient-ils que les continents restaient en surface.

Cette règle a souvent été mise en doute, mais beaucoup continuent de l'utiliser. La tomographie vient d'apporter, là aussi, des données nouvelles dans la chaîne de l'Himalaya, qui est née de la collision entre l'Inde et l'Asie. On sait que là, le système ne s'est pas bloqué, car la collision s'est produite il y a 50 millions d'années, et l'avancée de l'Inde continue toujours après avoir fait surgir, outre l'Himalaya, le Pamir, le Kunlun, le Qilian Shan, le Tien-Shan...

Dans la partie Ouest de l'Himalaya, au Pakistan, la tomographie montre que la plaque indienne s'enfonce en profondeur, mais avec la géométrie représentée sur la figure 2. Dans la partie Nord de l'Inde et dans la chaîne de l'Himalaya, la géologie de surface et la distribution des séismes soulignent bien le plongement vers le Nord de la plaque indienne. Puis celle-ci se verticalise et finit par se renverser : près de 1 000 kilomètres de plaque continentale apparaissent dans le manteau...

Il s'agit là du premier exemple connu de subduction continentale, qui démontre que la vieille règle de la tectonique des plaques doit être abandonnée, et qui réhabilite, bien tard, une interprétation, il est vrai moins compliquée, proposée en 1927 par Émile Argand, dans *La tectonique de l'Asie*.

La dynamique de la subduction s'est ici modifiée au cours du temps. Des milliers de kilomètres de plaques océaniques se sont d'abord enfoncés selon le mode classique. La plaque continentale a suivi le mouvement, mais le système a dû se modifier progressivement pour aboutir, au bout de 50 millions d'années, à une situation actuelle originale. Le manteau supérieur s'est avancé vers le Nord, sur plus de 1 000 kilomètres, en bousculant et en renversant les plaques océaniques qui s'étaient enfoncées avant la collision.

Une véritable mégatectonique est en train de naître ; celle-ci envisage les phénomènes à l'échelle de plusieurs

milliers de kilomètres, aussi bien horizontalement que verticalement. On ne se contente plus d'étudier les « limites » de plaques, qu'elles soient convergentes ou divergentes. On aborde enfin les mécanismes à l'échelle de la planète... Et l'on voit déjà apparaître de grandes provinces caractérisées par des styles mégatectoniques différents. Bien que la subduction océanique intervienne dans les deux cas, la chaîne des Andes se distingue des cordillères Nord-américaines, et la subduction continentale de la plaque indienne est associée à une signature profonde tout à fait particulière et à de grands couissements des plaques dans le manteau.

La découverte de vieilles plaques au sein du manteau profond est toute récente. Les premiers chercheurs qui en ont fait état sont Stephen Grandt et ses collègues de l'Université du Texas, Rob Van der Hilst du MIT, Sri Widiyantoro, de l'Université de Canberra, Harmen Bijwaard et Win Sjakman, de l'Université d'Utrecht, avec Robert Engdahl, du Geological Survey à Denver, et Rob van der Voo, de l'Université du Michigan.

Maurice MATTAUER est professeur de géologie à l'Université de Montpellier.

H.C. NATAF, *Les entrailles de la Terre*, in *Revue du Palais de la découverte*, pp. 11-21, 1996.

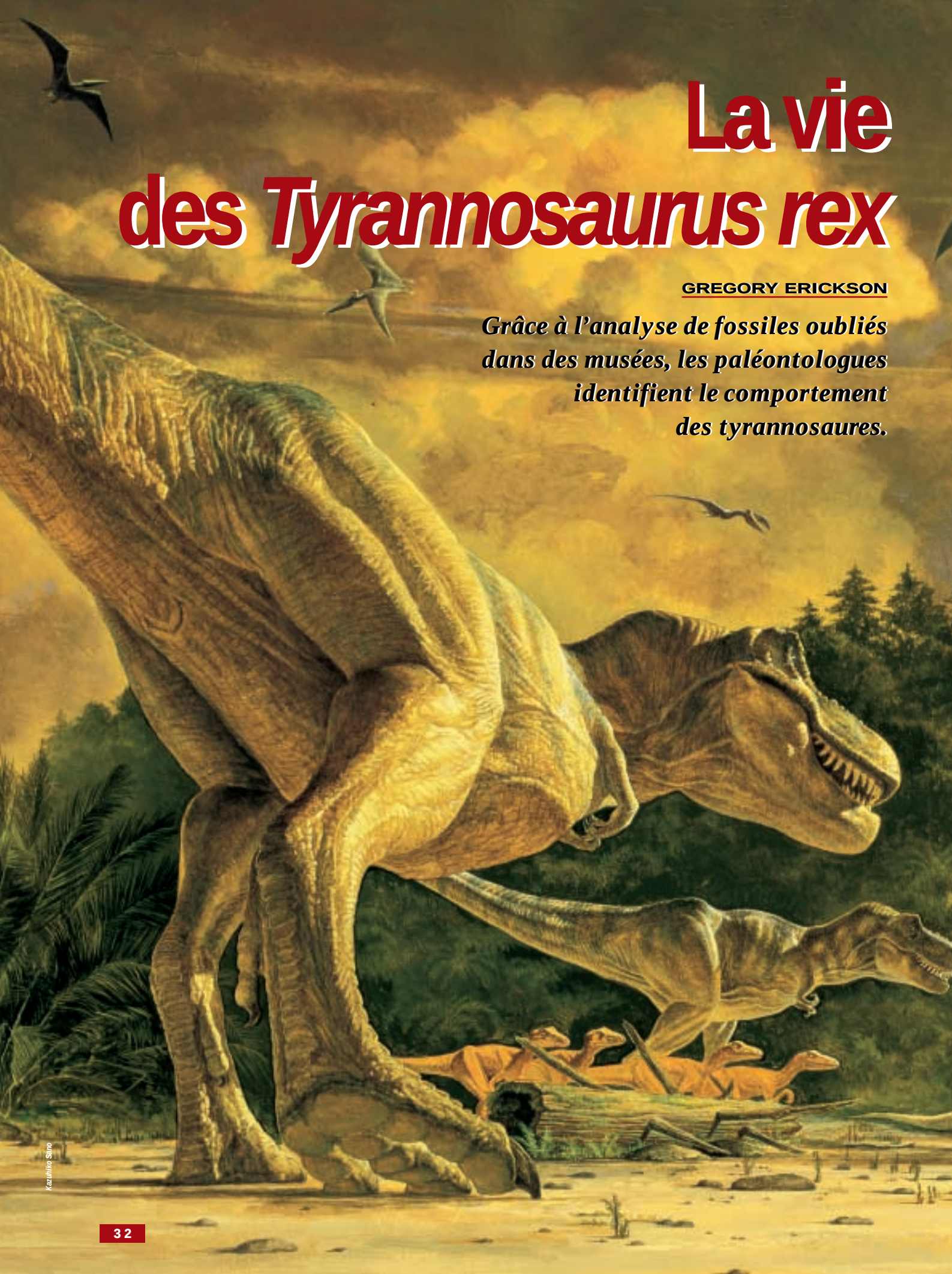
S. GRANDT et al, *Global Seismic Tomography : a Snapshot of Convection in the Earth*, in *GSA Today*, pp. 1-7, avril 1997.

R. VAN DER HILST et al, *Evidence for Deep Mantle Circulation from Global Tomography*, in *Nature*, vol. 386, pp. 578-584, avril 1997.

H. BIJWAARD et al., *Closing the Gap between Regional and Global Travel Time Tomography*, in *Journ. Geoph. Res.*, vol. 103, pp. 30055-30078, décembre 1998.

R. VAN DER VOO et al, *Tethyan Subducted Slabs under India*, in *Earth Plan. Sc. Lett.*, vol. 171, pp. 7-20, août 1999.

R. VAN DER VOO et al, *Mesozoic Subducted Slabs under Siberia*, in *Nature*, vol. 397, pp. 246-249, 29 janvier 1999.



La vie des *Tyrannosaurus rex*

GREGORY ERICKSON

*Grâce à l'analyse de fossiles oubliés
dans des musées, les paléontologues
identifient le comportement
des tyrannosaures.*



Disparus depuis 65 millions d'années, les dinosaures restent présents sur nos écrans et dans les chambres d'enfant. Parmi eux, le *Tyrannosaurus rex* – quatre tonnes et demie – est la vedette de ce bestiaire mi-réel, mi-mythique.

Selon le paléontologue Stephen Jay Gould, de l'Université Harvard, le nom de chaque espèce est une théorie sur l'animal en question : *Tyrannosaurus rex*, *T. rex* pour les intimes, est le «roi des lézards tyrans».

1. UN *TYRANNOSAURUS REX* repousse des congénères attirés par sa proie : un *Triceratops*. De petits troodons et des ptérosaures, qui tournoient dans le ciel, attendent les restes de son repas.

Dans les films et dans les représentations populaires, *T. rex* est une machine à tuer, agressive, assoiffée de sang, obnubilée par l'attaque de proies sans défense : cette idée est un amalgame d'imagination et d'études scientifiques. Un siècle d'étude et 22 fossiles presque complets de *T. rex* ont fourni beaucoup d'informations sur son anatomie. Cependant, le comportement se déduit difficilement de l'anatomie : était-il un prédateur ou un charognard ? La question lancine les paléontologues.

Solitaire ou grégaire ?

Depuis dix ans, des paléobiologistes explorent ce type de questions, cherchant à faire revivre les squelettes immobiles et silencieux des musées. Ils étudient non plus l'anatomie, mais les groupes de squelettes de nombreux individus, afin d'élucider les interactions des *T. rex* entre eux et avec les autres espèces. Ils traquent les traces fossiles de comportements, telles les marques de morsure sur les os, les types d'usure des dents et les coprolithes (des matières fécales fossilisées) afin d'obtenir des preuves concrètes d'activités biologiques jusqu'à aujourd'hui inconnues.

Les paléobiologistes supposent notamment que les espèces étroitement apparentées avaient des comportements analogues. Dans cette hypothèse, ils rapprochent les données concernant *T. rex* de celles des représentants plus anciens de la famille des tyrannosauridés, notamment leurs cousins du groupe des albertosaures, tels *Albertosaurus*, *Gorgosaurus* et *Daspletosaurus*.

Alors que les tyrannosaures sont souvent représentés comme des animaux solitaires, des traces fossiles indiquent qu'ils avaient un comportement grégaire, au moins pendant une partie de leur vie : au Montana, deux gisements paléontologiques d'où ont

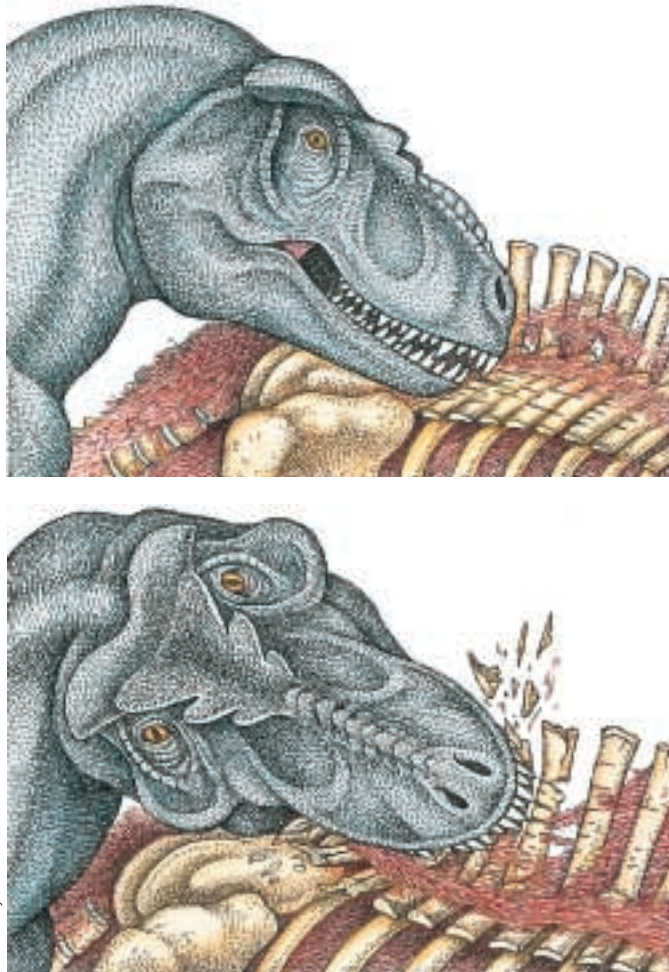
été extraits des fossiles de *T. rex* sont très convaincants.

Ainsi, en 1966, des chercheurs du musée de Los Angeles mettaient au jour un fossile de *T. rex* adulte sur le site de la Grotte de l'enfer, quand ils trouvèrent un second spécimen, adjacent au premier. Ils crurent à une espèce différente, plus petite, mais mes analyses de la microstructure osseuse ont montré que l'animal était un jeune *T. rex* (voir la figure 4). Une découverte analogue eut lieu lors de l'extraction de Sue, le fossile de *T. rex* le plus grand, le plus complet et le plus célèbre (pour son adjudication à 50 millions de francs, dans une vente publique à New York, en 1998) : les restes d'un deuxième adulte, d'un jeune et d'un *T. rex* nouveau-né ont été mis au jour dans la même carrière. Il y a peu de chances que plusieurs *T. rex* solitaires soient morts séparément au même endroit ; ils appartenaient sans doute à un même groupe social.

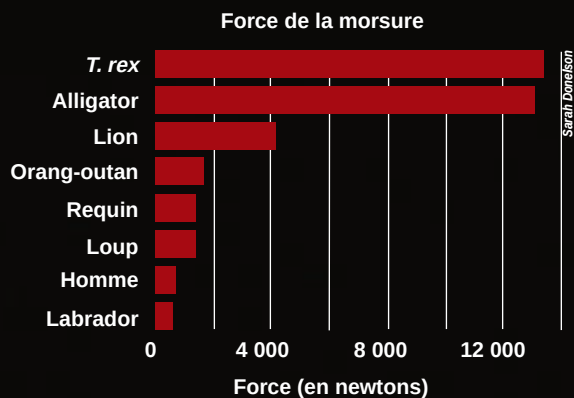
Une autre découverte beaucoup plus ancienne corrobore l'hypothèse : en 1910, dans l'Alberta, des paléontologues du musée d'histoire naturelle de New York ont découvert au moins neuf *Albertosaurus* dans une couche de sédiments très riche en ossements. Récemment, Philip Currie et ses collègues du musée de paléontologie Royal Tyrrell ont retrouvé le site de cette découverte et ont entrepris l'étude minutieuse de cet assemblage. De tels assemblages d'animaux carnivores apparaissent parfois quand ils sont piégés successivement, par exemple dans de la boue ou dans des sables mouvants, au bord d'une rivière : une proie déjà prisonnière cause leur perte. En l'occurrence, l'absence de restes d'un herbivore parmi les albertosaures, ainsi que dans le groupe auquel appartenait Sue, indique que les deux meutes ont plutôt péri de sécheresse, de maladie ou de noyade.

Les animaux étudiés par P. Currie mesuraient quatre à neuf mètres de longueur : le groupe comprenait des adultes et des jeunes. L'un des individus est beaucoup plus grand et plus robuste que les autres. Il pourrait appartenir à une espèce différente, mais je pense qu'il était plutôt le mâle ou la femelle dominant du groupe.

Grégaires plutôt que solitaires, les tyrannosaures étaient néanmoins très agressifs : des marques de morsures en partie cicatrisées révèlent des relations tendues entre les membres du groupe. P. Currie et Darren Tanke, spécialiste de paléopathologie, ont découvert que *T. rex* et ses cousins infligeaient un type caractéristique de morsure : le museau des proies, ainsi que le sommet ou l'arrière du crâne comportent des lacerations. Apparemment, *T. rex* mordait avec les dents latérales plutôt qu'avec l'avant de la mâchoire. La présence de marques caractéristiques sur les fossiles de *T. rex* eux-mêmes montre que ces dinosaures se battaient ; les combattants maintenaient



2. AVEC LEURS DENTS DE DEVANT, les *T. rex* grignotaient (en haut) des lambeaux de chair dans des endroits étroits, tels les espaces intervertébraux. Cependant, les *T. rex* mordaient également avec leur mâchoire entière pour arracher des pans entiers de carcasse qu'ils déchiquetaient ensuite (en bas).



3. GRÂCE À LEUR ÉNORME CORPS et à la puissante musculature de leur cou, les *T. rex* pouvaient arracher le bassin d'un tricératops et y laisser de profonds sillons (cartouche en bas à droite). Le test d'un moulage d'une dent de *T. rex* sur des bassins de vaches montre qu'il mordait plus puissamment que n'importe quel animal actuel (en haut à droite).

leur tête au même niveau pendant l'affrontement. L'importance de certaines blessures fossiles montre que les *T. rex* s'infligeaient parfois de graves blessures. L'un des spécimens étudiés a même la dent d'un adversaire fichée dans la mâchoire.

Tout au long de leur vie, les *T. rex* luttèrent pour s'approprier les partenaires sexuels ou le territoire. Les blessures des jeunes semblent plus courantes que celles des adultes : les jeunes étaient-ils attaqués à la fois par d'autres jeunes et par des adultes ? Ou bien les jeunes *T. rex* décédaient-ils plus souvent de leurs blessures que les adultes, qui cicatrisaient et ne gardaient pas de traces de leurs combats de jeunesse ?

Morsures et morceaux

Les gueules des babouins ou des tigres sont effrayantes, alors qu'elles n'ont que quatre canines. Imaginez maintenant une gueule garnie uniquement de dents en forme de poignard d'environ 20 centimètres de longueur, aux bords crénelés !

Avant 1990, on connaissait peu de marques de morsures par des *T. rex* : les quelques descriptions publiées étaient brèves et noyées dans la présentation de découvertes plus importantes ; les indices sur le comportement des *T. rex* avaient souvent échappé à l'étude. Quelques paléontologues seulement se sont intéressés aux dents des tyrannosaures.

En 1973, le paléontologue australien Ralph Molnar a étudié la force des dents d'après leur forme. Puis les Américains James Farlow et Daniel Brinkman ont

analysé la morphologie des dents du tyrannosaure : en raison de leur section en amande, les dents de *T. rex* étaient solides et capables de percer des os épais.

En 1992, le paléontologue amateur Kenneth Olson m'a soumis plusieurs spécimens, dont le bassin incomplet d'un *Triceratops* adulte de un mètre de largeur et de 1,5 mètre de longueur, et la phalange d'un *Edmontosaurus* adulte (un dinosaure à bec de canard) : les deux os sont criblés de rainures et de trous mesurant jusqu'à 12 centimètres de longueur et plusieurs centimètres de profondeur. Le bassin du *Triceratops* présente près de 80 marques. L'espacement des traces (dix centimètres environ), leur section en amande et l'empreinte de carènes – les bords très coupants et crénelés – sur les faces antérieures et postérieures de ces marques indiquent que les dents à l'origine de ces marques sont celles d'un *T. rex*.

On sait ainsi que *T. rex* se nourrissait de ses deux contemporains les plus courants, *Triceratops* et *Edmontosaurus*. De plus, *T. rex* mordait de deux façons : soit il perçait les chairs avant de reculer la tête pour arracher la viande, soit il utilisait ses dents de devant pour attraper et dilacérer la chair dans les espaces étroits où seul pouvait accéder le museau de la bête (voir la figure 2). Cette dernière méthode laisse sur l'os des sillons verticaux et parallèles.

Nombre de morsures sur le bassin du tricératops étaient espacées de quelques centimètres seulement, indiquant que le *T. rex* avait méthodiquement grignoté son morceau de

viande. À chaque morsure, le *T. rex* avait également arraché de petites esquilles d'os, qui ont été partiellement digérées.

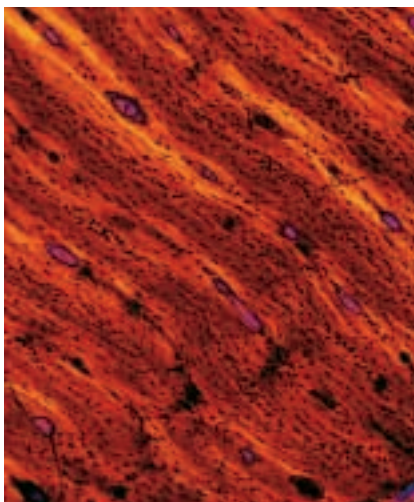
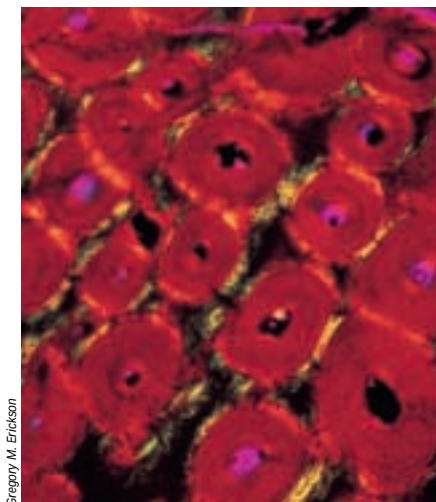
En 1997, ma collègue Karen Chin a confirmé cette description quand elle a analysé le premier coprolithe attribué avec certitude à un *T. rex* (voir la figure 5). D'un poids de 7,1 kilogrammes et d'une longueur de 44 centimètres, ce coprolithe découvert au Canada était plein d'éclats osseux. Grâce à des méthodes histologiques, K. Chin et moi avons établi que les fragments osseux provenaient d'un jeune dinosaure herbivore. Les *T. rex* ingéraient donc des morceaux d'os de leurs proies et ils les digéraient en partie grâce à de puissantes enzymes ou à des acides gastriques.

Malgré le manque de spécimens, K. Olson et moi avons supposé que *T. rex* laissait vraisemblablement d'innombrables marques de morsures. L'absence de preuve n'est pas opposée à cette hypothèse : d'une part, les paléontologues n'ont jamais recherché les empreintes de dents de façon systématique ; d'autre part, les collectionneurs et les musées recherchent les squelettes complets plutôt que des morceaux isolés. Or, les squelettes complets sont souvent ceux d'animaux décédés de mort non violente, rapidement ensevelis et protégés des charognards.

Aase Jacobsen, du musée Royal Tyrrell, a récemment testé cette explication en comparant des fragments de squelettes isolés avec des squelettes presque complets : 14 pour cent des os isolés portent des traces de morsures d'animaux du type des tyrannosaures, contre seulement quatre pour cent des restes plus complets.

Certaines caractéristiques du tyrannosaure, tels sa couleur, son cri ou sa parade nuptiale, resteront probablement inconnues, mais leur comportement alimentaire est accessible grâce aux fossiles. Ces derniers nous ont permis de réexplorer la grande question des années 1980 : *T. rex* était-il un prédateur ou un charognard ?

Lors de sa découverte, il y a un siècle, les paléontologues ont immédiatement supposé qu'il était un prédateur. Toutefois, des griffes acérées et une mâchoire puissante ne sont pas l'apanage des prédateurs. Par exemple, la plupart des ours sont omnivores et ne tuent qu'une petite proportion de leur nourriture. En 1917, après avoir remarqué que les dents d'un crâne incomplet d'albertosaure se



4. LA MICROSTRUCTURE DES OS DE DINOSAURES révèle l'âge des animaux. Les os des individus âgés présentent des tubes osseux, nommés canaux haversiens (*grands cercles, à gauche*), qui ont remplacé les microfractures des os moins organisés des jeunes (*à droite*).

Gregory M. Erickson

détachaient assez facilement, le paléontologue canadien Lawrence Lambe proposa que les tyrannosaures se nourrissaient de charognes en putréfaction (des recherches ont ensuite montré que 40 pour cent des dents perdues par les tyrannosaures sont très usées et cassées. Selon mes estimations du rythme de remplacement dentaire, ces dégâts ont eu lieu pendant une période d'environ deux ou trois ans). Dans le débat «prédateur» contre «charognard», où les arguments concernent l'anatomie et les capacités physiques des *T. rex*, L. Lambe soutenait ainsi l'opinion peu partagée que les tyrannosaures étaient des «vautours» terrestres géants.

Faucon ou vautour ?

Les partisans du comportement charognard ont mis en avant une «théorie de la fragilité dentaire» : les longues dents de *T. rex* n'auraient pas résisté à des attaques de proies vivantes ; les minuscules bras et la lenteur de *T. rex* l'auraient empêché d'attaquer ses proies.

Les partisans du comportement prédateur opposent des données biomécaniques variées : non seulement les dents de *T. rex* étaient plus solides qu'on ne l'avait imaginé, mais les bras «frères» du *T. rex* soulevaient jusqu'à 180 kilogrammes ; d'après les proportions des membres, on estime que les *T. rex* couraient à des vitesses atteignant 47 kilomètres par heure, soit plus vite que n'importe lequel de ses contemporains. Toutefois, on ne sait rien de son endurance ni de son agilité.

Le débat reste ouvert. La question exacte est de savoir dans quelles proportions *T. rex* utilisait les animaux vivants et morts de son environnement ? Des prédateurs tels les lions sont aussi des charognards occasionnels, et les charognards typiques, tels que les vautours, tuent parfois leur proie. Apparemment, les tyrannosaures étaient à la fois des chasseurs et des charognards.

Dans l'ancienne aire de répartition de *T. rex*, des couches riches en fossiles contiennent des restes de centaines, voire de milliers d'edmontosaures qui ont succombé à des inondations, à des sécheresses ou à des événements autres que la prédation. Sur ces fossiles, des



5. CE GRAND COPROLITHE (des matières fécales fossilisées) de 44 centimètres de longueur est le plus gros connu pour un carnivore. D'après sa taille, son âge, son contenu et son origine géographique, un tyrannosaure et, très certainement un *T. rex*, est son producteur.

traces de morsures et des dents perdues attestent le comportement charognard du *T. rex*. Néanmoins, K. Carpenter a également apporté de solides preuves d'un comportement prédateur : il a analysé le fossile d'un edmontosaure adulte qui a survécu à l'attaque d'un *T. rex*, avec plusieurs vertèbres caudales cassées, qui ont ensuite cicatrisé. Seul le *T. rex* était assez grand et assez puissant pour infliger une telle blessure. La quantification des traces fossiles indiquera la part de prédation de *T. rex*.

Des traces d'une préférence pour des proies moins dangereuses ou plus faciles à capturer seraient aussi en faveur d'un comportement prédateur, tandis que des traces d'une consommation indistincte des autres animaux révéleraient un comportement charognard. Grâce à des milliers d'os de dinosaures provenant de l'Alberta, A. Jacobsen et D. Tanke ont observé que les hadrosaures, dépourvus d'armure protectrice, présentent deux fois plus de traces de morsures que les cératopsiens, armés de cornes ; d'autre part, aucune trace de morsures n'a été trouvée sur les ankylosaures, lourdement caparaçonnés.

Cependant, dans son étude, la plupart des os des hadrosaures proviennent d'individus isolés, tandis que la plupart des cératopsiens ont été découverts dans des couches riches en squelettes complets : leurs cadavres ont peut-être été dépecés par des *T. rex* charognards. L'étude de cératopsiens isolés s'impose. De plus, l'analyse d'autres traces de morsures qui témoignent de tentatives de capture avortées indiquerait aussi la préférence, motivée par la prudence,

pour des proies moins récalcitrantes.

Selon A. Jacobsen, le cannibalisme était rare chez les *T. rex*. Seulement deux pour cent des os d'albertosaures portent des marques de morsures contre 14 pour cent des os d'herbivores. Ces découvertes sont également en faveur d'un comportement prédateur plutôt que charognard : les os de *T. rex* devraient présenter autant de marques de morsures que les os d'herbivores, puisqu'un *T. rex* charognard, de surcroît grégaire, n'aurait pas négligé les restes d'un congénère fraîchement décédé.

Les études histologiques des os découverts dans les coprolithes fournissent approximativement l'âge des victimes : les *T. rex* préféraient les membres vulnérables du troupeau, tels les très jeunes. Ce résultat plaide aussi pour un comportement prédateur, puisqu'un charognard aurait un régime alimentaire plus homogène.

Au total, il aura fallu un siècle pour que les paléontologues obtiennent une image fidèle de *Tyrannosaurus rex*. La description de ses mœurs impose un réexamen des anciennes découvertes délaissées. Grâce aux nouvelles techniques, nous décrypterons peut-être les informations apportées par des fossiles que nous estimions jusqu'à maintenant de peu de valeur.

Gregory ERICKSON est paléontologue à l'Université de Stanford.

Jean-Guy MICHARD, *Le monde perdu des dinosaures*, Éditions Gallimard, 1989.

Gregory M. ERICKSON, *Incremental Lines of von Ebner in Dinosaurs and the Assessment of Tooth Replacement Rates Using Growth Line Counts*, in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, vol. 93, n° 25, pp. 14623-14627, 10 décembre 1996.

Karen CHIN, Timothy T. TOKARYK, Gregory M. ERICKSON et Lewis C. CALK, *A King-Sized Theropod Coprolite*, in *Nature*, vol. 393, pp. 680-682, 18 juin 1998

Rob DESALLE et Daniel LINDLEY, *Comment fabriquer un dinosaure : la science de Jurassic Park*, Éditions du Seuil, 1999.

Collectif, *Le Tyrannosaure*, Marshall Cavendish, 1999.

Les dents des tyrannosaures

WILLIAM ABLER

Les dents des tyrannosaures révèlent les habitudes prédatrices et alimentaires de ces animaux.

La détermination des habitudes prédatrices et du comportement alimentaire des tyrannosaures nécessite une analyse de leurs dents. La dent de tyrannosaure ressemble à un cône, incurvé et aplati, dont la section est en forme d'amande. De nombreux paléontologues qui ont étudié les petites aspérités, nommées denticules, des arêtes antérieures et postérieures des dents ont supposé que celles-ci coupaient la viande à la manière d'un couteau à dents. Afin de tester cette analogie, nous avons étudié différents types de couteaux et l'influence des denticules sur la découpe de la viande.

Nous avons supposé que

les dents des tyrannosaures étaient bien adaptées à leurs fonctions. Néanmoins, les expériences sur les dents elles-mêmes, qui semblent être le meilleur moyen de découvrir leurs caractéristiques, ne sont pas rigoureuses. Par exemple, on ne peut modifier la hauteur des denticules pour suivre l'évolution du tranchant de la dent. Nous avons donc étudié des lames d'acier dont nous variaient la dentelure et le tranchant, pour ensuite les comparer aux dents de tyrannosaure.

Le fil d'un couteau est lisse ou dentelé. Une lame lisse est définie par l'angle formé par les deux faces et par le rayon de courbure de la lame du côté tranchant : plus ce rayon est petit, plus le couteau est coupant. Les lames dentelées sont caractérisées par la hauteur des dents et par leur espacement.

Lisse ou crénelé ?

J'ai ainsi créé, d'une part, une série de couteaux à lame lisse, avec différents angles entre les faces, mais avec un même rayon de courbure et, d'autre part, une série de couteaux à dents. Les lames étaient montées sur une scie de boucher, actionnée par des cordes et des poulies qui déplaçaient la lame sur des morceaux de viande identiques, disposés sur une planche à découper (voir la figure 2). Avec des poids placés à l'extrémité des cordes, j'ai mesuré les forces nécessaires pour couper chaque morceau de viande à la même profondeur.

La lame dentelée coupe la viande parce que chaque dent pénètre dans la

viande à une profondeur égale à sa longueur, et isole ainsi un petit morceau entre deux dents consécutives ; lorsque la lame se déplace, chaque dent déchire cette partie isolée. La lame, qui descend à nouveau et répète les mêmes étapes, transforme donc une force de traction en une force de coupe.

En revanche, une lame lisse concentre la force vers le bas, sur le fil : plus ce bord est mince, plus la pression est importante pour une même force. Le fil écrase la viande jusqu'à ce qu'elle se fende, et les déplacements de la lame réduisent les frottements entre la surface de la lame et la viande.

J'ai ensuite étudié différentes dents crénelées avec le même dispositif expérimental : la dent crénelée d'un requin fossile (*Carcharodon megalodon*) fonctionne exactement comme une lame de couteau à dents. En revanche, une dent de tyrannosaure coupe la viande comme une lame de couteau lisse. Or, les denticules, même dissemblables, sont une caractéristique importante de la dent de tyrannosaure. Ces denticules ont-ils une autre fonction que celle de trancher ?

Sur une dent de requin, les denticules ont une forme pyramidale, tandis que ceux de tyrannosaure sont cubiques. Pour comprendre le rôle des espacements entre les denticules, nommés cellae, et des minces fentes, les diaphyses, qui prolongent verticalement les cellae, j'ai coupé de la viande avec une dent de tyrannosaure. Pour la première fois depuis 65 millions d'années, une dent de tyrannosaure tranchait de la chair fraîche !

Le microscope révèle que les cellae piègent la graisse et les autres débris alimentaires, tandis que les diaphyses, plus profondes, retiennent des filaments

1. DE LA DENT MASSIVE d'un tyrannosaure, seule 20 pour cent de la dent émergeait des gencives (la partie lisse en haut à gauche).



2. DANS LE DISPOSITIF DE MESURE du tranchant de différentes lames d'acier, des poids fixés à des cordes sur les côtés et au centre provoquent une coupure de dix millimètres dans un échantillon de viande (représenté ici par la gomme verte).



3. CET AGRANDISSEMENT d'une dent de tyrannosaure montre des filaments de tendons piégés dans les diaphyses entre chaque denticule.

de tendons de la victime. Piégés pendant de longues périodes, ces débris de viande et de graisse hébergeaient des bactéries pathogènes : une morsure de tyrannosaure, si elle n'était pas immédiatement fatale, était probablement la source d'une infection mortelle.

D'autre part, les denticules voisins ne se rejoignent qu'à l'intérieur de la dent, à une profondeur égale à la hauteur externe du denticule. Le point de rencontre, nommé ampoule, en forme de fiole plutôt qu'en forme de V, empêche la dent de se briser lorsqu'elle est soumise à une forte pression : alors que les diaphyses étroites exercent une forte pression sur les filaments de tendon pour les garder piégés, l'ampoule arrondie répartit la pression sur toute sa surface et évite ainsi la concentration des forces en un point qui risquerait de provoquer une fracture.

Préserver par les ampoules, les dents des tyrannosaures fonctionnaient moins comme des couteaux que comme des crampons qui maintenaient la nourriture pendant que le *T. rex* l'arrachait. L'absence de surface d'occlusion et les rares contacts entre les dents

montrent que les *T. rex* ne mâchaient pas leur nourriture, mais avalaient plutôt les gros morceaux de chair d'un seul coup.

Rougies par le sang !

La comparaison avec des carnivores vivants pouvait-elle éclairer la biologie alimentaire de *T. rex*? L'herpétologue Walter Auffenberg, de l'Université de Floride, a étudié le plus gros lézard du monde, le varan de Komodo (voir *Le dragon de Komodo*, par Claudio Ciofi, *Pour la Science*, mai 1999), qui semble être un bon modèle du tyrannosaure. Le dragon de Komodo, dont les dents ressemblent remarquablement à celles du tyrannosaure, inflige des morsures qui infectent la victime quand elle s'échappe : un animal rescapé ne vit pas longtemps quand il est blessé. Infligeant des morsures de ce type, les tyrannosaures semblent avoir été des prédateurs. La victime des attaques initialement manquées était attrapée par

l'animal responsable de la blessure ou par un congénère.

Une flore buccale pathogène nécessite un environnement humide : les tyrannosaures avaient probablement des lèvres étroitement fermées, ainsi que des gencives épaisses et spongieuses qui couvraient leurs dents. Quand les tyrannosaures mangeaient, la pression entre les dents et les gencives provoquaient sans doute des saignements qui nourrissaient les bactéries dentaires pathogènes. Pendant les repas, la monstrueuse mâchoire des tyrannosaures était rougie par deux sangs différents !

William ABLER travaille au Département de géologie du musée Field, à Chicago.

William ABLER, *The Serrated Teeth of Tyrannosaurid Dinosaurs and Biting Structures in Other Animals*, in *Paleobiology*, vol. 18, n° 2, pp. 161-183, 1992.

William ABLER, *Tooth Serrations in Carnivorous Dinosaurs*, in *Encyclopedia of Dinosaurs*, sous la direction de Philip J. Currie et Kevin Padian, Academic Press, 1997.



La réparation de la moelle épinière

JOHN MCDONALD

*Les lésions de la moelle épinière semblaient naguère irréparables.
Des données nouvelles redonnent l'espoir à certaines personnes paralysées.*

Lors d'un entraînement aux rencontres sportives internationales de Goodwill, en 1998, le gymnaste chinois Sang Lan tombe sur la tête et reste paralysé. Pendant un match, le joueur de football américain Dennis Byrd heurte un autre joueur et ne peut se relever. Une chute, un accident de voiture, un choc provoquent des paralysies, parce qu'ils lèsent la moelle épinière. Quelle qu'en soit la cause, une lésion grave de la moelle épinière se manifeste souvent par une paralysie totale ou partielle des membres et par la perte de toute sensibilité de l'organisme au-dessous de la lésion.

Depuis une trentaine d'années, les médecins s'efforçaient de stabiliser la colonne vertébrale pour éviter le déplacement osseux et l'extension des lésions médullaires, prévenaient et traitaient les infections ; ils prescrivaient des séances de rééducation pour aider les malades à optimiser leurs capacités résiduelles. Naguère, toutes ces personnes mouraient de complications infectieuses dans les mois qui suivaient l'accident. Aujourd'hui, leur durée de vie est similaire à celle de la population générale. Quand la lésion de la moelle épinière était grave, on n'avait aucun espoir de guérison, car, contrairement aux tissus du système nerveux périphérique, ceux du système nerveux central (la moelle épinière et le cerveau) ne se réparent pas spontanément. Pourtant, quelques observations récentes font espérer qu'un jour, peut-être, la médecine disposera de moyens pour réparer la moelle épinière.

En 1990, un essai clinique international a révélé qu'un corticostéroïde, la méthylprednisolone, préserve une

partie des fonctions sensorielles et motrices quand on l'administre à hautes doses au cours des huit heures qui suivent l'accident. Pour la première fois, un traitement semblait minimiser les conséquences d'un traumatisme de la moelle épinière. Les améliorations étaient limitées, mais ce résultat stimula la recherche de nouveaux traitements. Depuis, de nombreux médecins et biologistes ont étudié pourquoi les lésions s'étendent dans les heures suivant l'accident et pourquoi le tissu endommagé ne se répare pas ; ces recherches vont ouvrir de nouvelles voies thérapeutiques.

Les progrès rapides de nos connaissances devraient aider les personnes atteintes de lésions de la moelle épinière à récupérer un usage au moins partiel de leurs membres. Simultanément, on continue à chercher des moyens pour compenser les paralysies plutôt que des moyens visant à réparer les lésions. Au cours des deux dernières années, par exemple, les autorités sanitaires de plusieurs pays ont homologué des dispositifs activant électriquement les muscles par des fils implantés. L'un d'eux déclenche des mouvements de la main (qui permet, par exemple, de saisir une tasse ou un crayon) chez des personnes qui ont conservé la mobilité des épaules ; l'autre restaure un contrôle des sphincters de la vessie et du rectum.

Les chirurgiens ont également mis au point des techniques pour restituer la capacité de préhension : ils identifient les tendons qui relient les muscles paralysés de l'avant-bras aux os de la main, les déconnectent et les relient aux muscles du bras commandés par des zones de la moelle

épinière situées au-dessus de la lésion (c'est-à-dire toujours sous contrôle volontaire). De surcroît, des études réalisées sur l'animal ont indiqué qu'une rééducation précoce, qui met les membres en action dès que la lésion osseuse est stabilisée, améliore les fonctions motrice et sensorielle des membres.

Le fonctionnement de la moelle épinière

La moelle épinière mesure moins de deux centimètres et demi de diamètre, mais c'est la voie de communication du cerveau avec le reste de l'organisme. Elle contient les neurones, des cellules constituées d'un corps cellulaire renflé, de ramifications, les dendrites, qui détectent les signaux, et d'un prolongement du corps cellulaire, l'axone, qui transmet les signaux aux cellules voisines. Les axones, ramifiés à leur extrémité, établissent des connexions, ou synapses, avec plusieurs neurones. Certains se prolongent sur toute la longueur de la moelle épinière.

La moelle, molle et gélatineuse, contient deux systèmes de neurones et d'axones. Les uns, constituant les voies motrices descendantes, commandent les muscles lisses des organes internes et les muscles striés ; ils modulent également les actions du système nerveux autonome, qui contrôle la pression artérielle, la température corporelle et les réactions vasculaires de l'organisme au stress. Les voies descendantes partent de neurones dont les corps cellulaires sont dans le cerveau ; elles transmettent leurs signaux électriques vers différents «étages» de la moelle épinière. Les neurones de ces différents