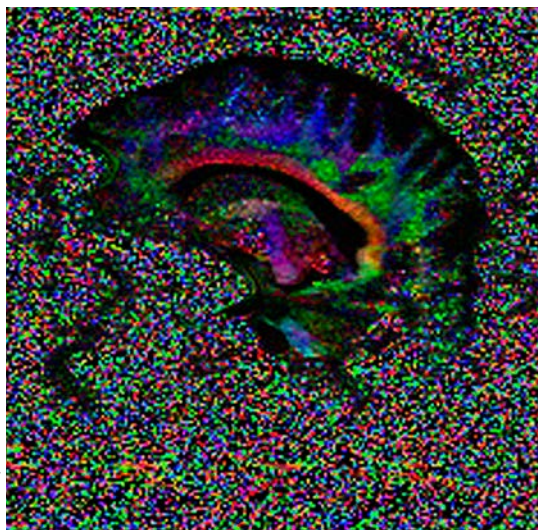




UNE ÉTUDE DE TRACTOGRAPHIE
réalisée en IRM de diffusion sur
le scanner IRM 7T de NeuroSpin à Saclay.
Après reconstruction, ces données
permettront de visualiser les faisceaux
de fibres de la matière blanche
du cerveau.

Horowitz, Anatole Abragam, Maurice Goldman, Maurice Guéron et André Syrota. Muni d'un aimant de deux teslas, cet appareil à haut champ – le premier au monde – est installé en 1984 au SHFJ, qui devient alors un centre pionnier de spectroscopie RMN *in vivo* et d'IRM.

Les utilisations de la RMN sont très diverses. On y recourait dès les années 1960 pour mesurer la diffusion de l'eau dans un milieu. En 1985, Denis Le Bihan et Éric Breton, au SHFJ, proposent d'en tirer une nouvelle modalité d'IRM,

en supposant que l'eau ne diffuse pas de la même manière dans tous les types de tissus biologiques. Cette « IRM de diffusion » trouve bientôt son utilité en clinique, d'abord pour la détection précoce des ischémies cérébrales, ainsi que l'a découvert l'Américain Michael Moseley, puis pour celle des tissus cancéreux. En 1990, Michael Moseley constate que, dans la matière blanche cérébrale, l'eau ne diffuse pas de la même manière dans toutes les directions. Il est probable qu'elle soit dirigée préférentiellement le long des axones. En 1992, Peter Basser et Denis Le Bihan s'appuient sur ce résultat pour esquisser « l'IRM par tenseur de diffusion », avec laquelle, grâce à de nouvelles applications informatiques, il deviendra possible dès la fin des années 1990 de retracer le trajet intégral des fibres nerveuses (c'est la « tractographie »).

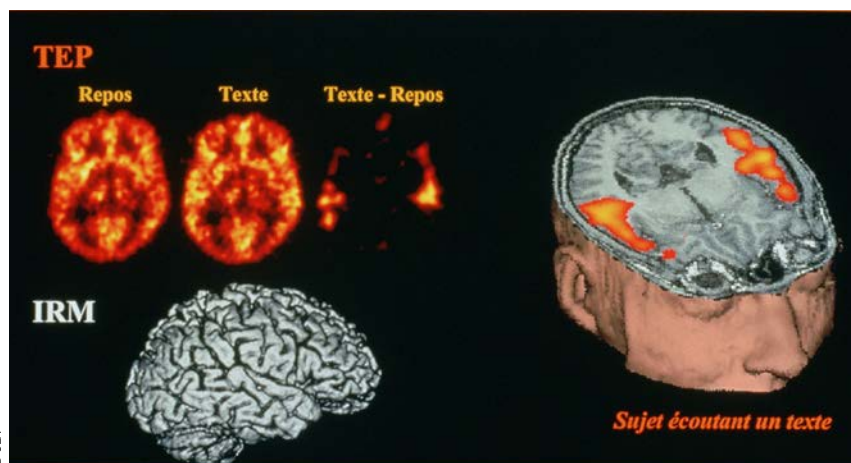
En 2007, l'ouverture de NeuroSpin à Saclay consacre l'expertise du CEA en matière d'IRM. Ce service rassemble toutes les techniques d'imagerie anatomique et fonctionnelle par RMN pour réaliser des études précliniques ou cliniques du cerveau. Le CEA y poursuit sa course vers l'IRM à très haut champ : depuis 2010, NeuroSpin dispose d'un aimant de 17,2 teslas de petit diamètre ; il s'apprête à en recevoir un autre, capable de délivrer 11,7 teslas dans un tunnel d'une largeur de 90 centimètres, suffisante pour y placer un être humain. L'imagerie du cerveau humain bénéficiera ainsi d'un niveau de performance unique au monde. Ce nouvel appareil est le fruit d'une collaboration entre Alstom, Siemens et le CEA, qui a mis à profit l'expertise en aimants supraconducteurs de son Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers. Il s'intègre dans un projet franco-allemand de développement des applications médicales de « l'IRM 11,7 T », dont l'IRM moléculaire.

Outre l'augmentation du champ, un moyen de collecter davantage de signaux en une passe, afin de rendre l'IRM encore plus précise et rapide, consiste à polariser les noyaux pour rendre leur réponse plus intense. Cette voie fait l'objet de recherches très actives à l'Iramis (Institut rayonnement matière du CEA).

Un enjeu pour les neurosciences

Accroître ainsi les capacités de l'imagerie anatomique et fonctionnelle intéresse particulièrement les neurosciences. Il s'agit, par exemple, de relier les connaissances du fonctionnement des neurones issues de l'observation microscopique à celles des activations de différentes régions cérébrales à l'échelle de la seconde, ou de détecter les agrégats de protéines anormales qui sont typiques de certaines maladies neurodégénératives, telles que la maladie d'Alzheimer. À Fontenay-aux-Roses, le Mircen (*Molecular Imaging Research Center*), un institut commun au CEA et à l'Inserm, développe et valide des techniques d'imagerie dédiées à ces fins.

Toutes ces avancées témoignent de l'importance prise par les recherches transversales qui, en imagerie, associent physique, électronique, mathématiques, informatique et biologie, et par lesquelles le CEA répond à de grands enjeux de santé publique. ■



UN COUPLAGE DE TEP ET D'IRM. Grâce à la comparaison de deux images, l'une obtenue lors de l'audition d'un texte par le patient (*Texte*), l'autre acquise lors d'un moment de silence (*Repos*), la TEP met en évidence les zones cérébrales spécifiquement impliquées dans l'écoute. L'image résultante (*Texte - Repos*) est intégrée à une vue en coupe anatomique obtenue par IRM (*à droite*) afin de bien localiser ces zones dans le cerveau.



L'ESSENTIEL

- L'existence de tyrannosaures géants à la fin du Crétacé est connue depuis plus d'un siècle, mais les paléontologues ignoraient l'origine de ces animaux.
- De nouveaux fossiles viennent de fournir de précieux indices sur l'évolution des tyrannosaures.
- Les espèces de ce groupe étaient très modestes au début, il y a environ 170 millions d'années. Puis le groupe s'est diversifié et des superprédateurs géants sont apparus.



L'ascension des tyrannosaures

De nouveaux fossiles révèlent que les tyrannosaures sont passés, en 100 millions d'années, d'un groupe d'animaux de petites tailles à la famille de prédateurs géants qui a dominé la fin du Crétacé.

Stephen Brusatte

Été 2010, Ganzhou, ville chinoise de la province du Jiangxi. Un conducteur d'engin creuse des fondations quand sa pelle bute sur un obstacle. Quelque peu agacé, il descend inspecter, s'attendant à quelque vieille conduite métallique ou, pire, à une couche rocheuse qui retarderait les travaux de son équipe. Mais il est tout étonné de découvrir de vieux ossements, qu'il signale. S'il ne l'avait pas fait, nous aurions été privés d'une grande découverte paléontologique : le squelette presque complet d'une nouvelle espèce de tyrannosaure !

Quelque temps plus tard, mes collègues chinois me demandent de les aider à décrire ce cousin du *Tyrannosaurus rex*. En mai 2014, nous pouvons enfin annoncer la découverte de *Qianzhousaurus sinensis*. Le nom de ce dinosaure étant difficile à prononcer pour un Occidental, nous avons surnommé ce tyrannosaure à très long museau « Pinocchio rex ».

Qianzhousaurus fait partie de la série d'espèces découvertes qui est en train de changer notre vision des tyrannosaures. Au cours des quinze dernières années, une vingtaine d'espèces nouvelles de tyrannosaures ont été mises au jour dans le monde, que ce soit dans les déserts de Mongolie ou sous le cercle Arctique. Grâce à elles, les paléontologues ont reconstitué la généalogie de ce groupe. Le résultat est

TROIS DILONG, des tyrannosaures de petite taille, défendent leur proie face à un grand *Yutyrannus* dans une forêt jurassique de ce qui deviendra la Chine.

surprenant : pendant la plus grande partie de leur histoire, les tyrannosaures n'ont été qu'un groupe de modestes carnassiers. Ils n'ont acquis les grandes tailles et la position dominante au sommet de la chaîne alimentaire qu'on leur connaît qu'au cours des 20 derniers millions d'années de l'ère des dinosaures. Cette dernière, qui commence il y a 250 millions d'années, couvre le Trias, le Jurassique et le Crétacé ; elle s'achève il y a quelque 66 millions d'années, quand un astéroïde de 10 kilomètres de diamètre percute la Terre.

Des origines modestes

Ainsi, loin d'appartenir à une famille de prédateurs géants, le monstre *Tyrannosaurus rex* a des origines modestes : il est le dernier survivant d'un groupe de dinosaures qui se diversifia assez pour parvenir à se répandre sur la Terre entière.

Depuis sa découverte il y a plus d'un siècle, *T. rex* dominait le spectacle dinosaurien, mais diminuait son intérêt aussi. Il y a peu de temps encore, on se bornait à constater avec fascination que les membres de cette espèce de la fin du Crétacé atteignaient 13 mètres de long et 5 tonnes. En outre, les paléontologues du XX^e siècle ont découvert quelques cousins du *T. rex*, eux aussi impressionnants. Cela les a persuadés que *T. rex*, loin d'être seulement une curiosité paléontologique, était l'aboutissement de toute une branche dinosaurienne. Dès lors, ils ont voulu comprendre comment et quand cette branche était apparue. En

d'autres termes, ils ont cherché à découvrir des formes anciennes de tyrannosaures.

La découverte du *T. rex* est le premier élément de cette longue histoire. Au début du XX^e siècle, Henry Fairfield Osborn était l'un des paléontologues les plus en vue des États-Unis. Président du Muséum d'histoire naturelle de la ville de New York et de l'Académie américaine des arts et des sciences, il était régulièrement en couverture du magazine *Time*, tribune dont il se servait pour promouvoir ses idées racistes et eugénistes. Cela lui vaut aujourd'hui d'être vu comme un douteux fanatique. Toutefois, Osborn était un excellent paléontologue doublé d'un bon administrateur scientifique. C'est lui qui prit l'heureuse initiative d'envoyer le collecteur de fossiles Barnum Brown à la recherche de fossiles de dinosaures dans l'Ouest américain.

Brown était un personnage haut en couleur, souvent vêtu d'un long manteau de fourrure en plein été, il ne dédaignait pas d'arrondir ses fins de mois en espionnant pour le compte de divers gouvernements et compagnies pétrolières. Il avait du flair pour trouver des fossiles. En 1902, il fit dans le Montana l'une des plus célèbres découvertes de toute l'histoire de la paléontologie : le squelette complet d'un carnivore géant.

Lors de la description de ce spécimen, quelques années plus tard, Osborn le nommera *Tyrannosaurus rex*, c'est-à-dire « roi des lézards-tyrans ». Osborn et Brown avaient découvert le plus gros et le plus féroce de tous les prédateurs ayant jamais vécu sur Terre...

Le *T. rex* est ensuite devenu la coqueluche des muséums et une vedette de cinéma. Mais il est resté dans le même temps une énigme scientifique. D'où pouvait provenir une telle espèce ? Les paléontologues ont eu le plus grand mal à la situer dans le cours de l'évolution. *T. rex* est si énorme et si différent des prédateurs que l'on connaissait jusque-là qu'il paraissait presque aberrant.

Au cours des décennies qui ont suivi la découverte de *T. rex*, quelques proches parents du grand prédateur ont été mis au jour. Ils lui sont contemporains, puisqu'on les a découverts sur des sites nord-américains datant de 84 à 66 millions d'années, donc du Crétacé supérieur. Ces grands tyrannosaures – *Albertosaurus*,

Gorgosaurus, *Tarbosaurus* – ressemblent beaucoup à *T. rex* : des superprédateurs qui semblent avoir profité des derniers moments de l'histoire dinosaurienne pour prospérer. Bien que très impressionnants, ces nouveaux fossiles n'ont pas permis d'élucider les origines des tyrannosaures.

L'histoire évolutive des tyrannosaures n'a été éclairée que récemment, grâce aux fossiles mis au jour par des aventuriers de la paléontologie qui ont bravé le froid, la chaleur, les serpents, la poussière, pour explorer l'Ouest américain, l'Argentine, les déserts de Gobi et du Sahara, le Grand Nord russe...

L'un de ces aventuriers est mon collègue Alexander Averianov de l'Institut zoolo-

au Jurassique moyen, il aurait pu écraser *Kileskus* comme un moucheron. Cependant, *Kileskus* présente d'incontestables similitudes avec *Guanlong* (voir l'arbre de parenté pages 80 et 81), un autre petit carnivore de Chine décrit en 2006 et postérieur de dix millions d'années à *Kileskus*. Par exemple, *Kileskus* et *Guanlong* ont en commun une crête osseuse sur la tête. Et *Guanlong*, connu par bien plus de spécimens complets que *Kileskus*, présente plusieurs traits tyrannosauriens, tels ces os nasaux fusionnés formant le museau.

Les traits communs à *Guanlong* et à *Kileskus* sont les signes d'une ascendance commune. Ces deux modestes formes, si peu dignes d'intérêt à première vue, constituent la souche ancestrale des tyrannosaures géants de la fin du Crétacé, tels *T. rex*.

Ces deux découvertes révèlent que, au contraire de ce que pensaient les paléontologues lors des premières découvertes de tyrannosaures, les plus anciens de ces dinosaures n'étaient pas des superprédateurs. Le groupe des tyrannosaures semble être issu d'une famille de camasiens plutôt modestes dont les membres vivaient dans l'ombre de superprédateurs géants de leur époque, tels les allosaures et les cératosaures, qui ne leur étaient apparentés que de loin.

La découverte de *Kileskus* et de *Guanlong* nous révèle en outre que les tyrannosaures sont enracinés bien plus loin dans le temps qu'on ne l'aurait imaginé. *Kileskus* et *Guanlong* vivaient à l'époque où le supercontinent de la Pangée ne s'était pas encore totalement disloqué, de sorte que les lignées animales pouvaient se répandre sur les diverses masses continentales. Cette géographie disparue (voir les cartes pages 80 et 81) explique que l'on découvre les dinosaures les plus anciens en Russie ou en Chine, tandis que les espèces un peu plus tardives le sont en Amérique du Nord et au Royaume-Uni. Les espèces découvertes en Chine et en Russie prouvent aussi que des millions d'années ont été nécessaires avant que les tyrannosaures ne dominent. De fait, plus de 100 millions d'années se sont écoulées entre les premiers tyrannosaures et *T. rex*, soit bien plus que les 66 millions d'années qui séparent ce dernier de l'espèce humaine...

Kileskus est
**UN PETIT
TYRANNOSAURE**
qui vécut
il y a 170 millions
d'années.

gique de l'Académie russe des sciences, à Saint-Petersbourg. En 2010, son équipe annonce une découverte intéressante faite non loin de Krasnoïarsk, sur les vastes plateaux de la Sibérie centrale. L'amas d'ossements se révèle appartenir à un carnivore de stature comparable à celle d'un humain. Le terrain correspondant date d'environ 170 millions d'années, donc du Jurassique moyen, soit bien avant *T. rex*. Les chercheurs russes nomment leur trouvaille *Kileskus*, c'est-à-dire « lézard » en khakasse, la langue locale. Ce spécimen allait constituer un indice crucial.

Au premier abord, *Kileskus* n'est pas impressionnant et ne ressemble pas à *T. rex*. Si ce dernier avait vécu en Russie

Que les tyrannosaures aient mis autant de temps avant d'atteindre leurs tailles gigantesques ne signifie pas que leur évolution a stagné. Nombre d'indices suggèrent que les tyrannosaures se sont beaucoup diversifiés bien avant l'apparition des *Tarbosaurus*, *T. rex* et leurs semblables. Des exemples frappants de cette prolifération ont été fournis par Liaoning, une région du nord-est de la Chine.

Le Liaoning, Pompéi du Crétacé

On ne peut pas dire que le Liaoning soit le plus bel endroit au monde. Bien que j'aie grandi dans les mornes plaines du Midwest américain, j'ai eu du mal à garder les yeux ouverts dans le train, voyage où j'ai vu défiler pendant trois heures et demie des paysages vallonnés drapés de brume et parsemés de fermes aux cheminées fumantes. Mais ces terres constituent un paradis pour les chasseurs de fossiles.

Depuis une vingtaine d'années, les fermiers de la région ont découvert des milliers de fossiles de dinosaures. Ces anciens animaux ont été ensevelis il y a 120 à 130 millions d'années par des émissions répétées de boue et de cendres volcaniques. Brusquement enfouis en milieu anaérobie, ils se sont conservés dans le moindre détail.

Parmi les fossiles mis au jour dans ce Pompéi du Crétacé, deux espèces de tyrannosaures retiennent l'attention. Mon collègue Xu Xuing, de l'Institut de paléontologie et de paléoanthropologie des vertébrés à Pékin, a fait connaître la première de ces espèces, *Dilong*, en 2004. À peu près de la taille d'un chien de race *golden retriever*, équipé de longs bras pour capturer ses proies, il est doté d'une ossature souple à longues jambes adaptée à la course.

La seconde espèce, décrite par Xu Xuing en 2012, est très différente. Long de 8 à 9 mètres et pesant environ une tonne, *Yutyrannus* occupait probablement le sommet de la chaîne alimentaire ou presque. Découverts dans la même formation rocheuse vieille de 125 millions d'années, ces deux tyrannosaures étaient sans doute contemporains. À elles deux, ces espèces caractérisées par des os nasaux fusionnés et d'autres traits tyrannosauriens caractéristiques démontrent qu'au Crétacé inférieur les tyrannosaures s'étaient déjà diversifiés en des formes, parfois de grande taille, adaptées aux diverses niches écologiques existantes.

La découverte de *Dilong* et de *Yutyrannus* est essentielle pour une autre raison encore. Il fut un temps où les paléontologues considéraient les dinosaures comme de gros reptiles patauds et écailleux ayant trop grandi. Or les indices recueillis au cours des vingt dernières années permettent d'affirmer que certains dinosaures étaient bien plus dynamiques et intelligents qu'on ne le pensait, et pas du tout écailleux puisqu'ils étaient... couverts de duvet! *Dilong* et *Yutyrannus* font partie de ces dinosaures ressemblant davantage à des oiseaux qu'à des reptiles. Leur corps était couvert d'une épaisse couche de duvet, c'est-à-dire de ces plumes légères aux barbes non enchevêtrées qui tapissent le corps des oiseaux (particulièrement aquatiques) pour les protéger du froid. Comparables à des cheveux, qui seraient ramifiés, ces filaments

■ L'AUTEUR



Stephen BRUSATTE est paléontologue à l'université d'Édimbourg, en Écosse.

Ses recherches se concentrent sur l'anatomie et l'évolution des dinosaures.

Un curieux dinosaure emplumé du Liaoning

Outre les tyrannosaures, les dinosaures prédateurs comprennent les dromaeosauridés ou « lézards coureurs ».

Stephen Brusatte et son collègue Jungchang Lü, de l'Institut de géologie de l'Académie des sciences chinoises, viennent de décrire *Zhenyuanlong suni*, le premier dromaeosauridé à petits bras découvert avec des plumes évoluées.

Les dromaeosauridés sont une famille de dinosaures théropodes (dinosaures carnivores dotés de pattes à quatre doigts) à plumes, ressemblant à des oiseaux. Ils sont apparus au milieu du Jurassique et ont disparu à la fin du Crétacé, ce qui indique un succès évolutif comparable à celui des tyrannosaures.

Découvert dans le district du Jianchang dans le Liaoning, dans une formation datant de 121 à 125 millions d'années, le nouveau dromaeosauridé mesurait quelque 165 centimètres de long.

Son corps semble aberrant aux paléontologues, car il était doté de tout petits bras emplumés en

tous points comparables à ceux de *Microaptor*. De la taille d'un gros oiseau, *Microaptor*, pouvait probablement voler. Il semble en tout cas physiologiquement aussi proche des oiseaux que des autres théropodes. Il est muni de plumes sur les pattes et les ailes (bras?), c'est-à-dire des plumes planaires qui, chez les oiseaux, ont la fonction de créer de la

portance. *Zhenyuanlong suni* aussi est doté de plumes semblables, alors qu'il est peu vraisemblable qu'il ait pu voler, ni même planer étant donné sa taille et ses petits bras.

Les paléontologues invoquent plusieurs explications possibles du caractère aberrant de *Zhenyuanlong suni*. Ils se demandent d'abord si, après tout, il pouvait au moins un peu voler. Ils supputent qu'il aurait hérité ses « ailes » d'ancêtres qui, eux le pouvaient. Dans ce cas, il les aurait conservées, car des bras emplumés lui auraient été utiles pour parader... Une énigme évolutive de plus!

— François Savatier



© Stephen Brusatte/Nature

LA LONGUE ÉVOLUTION DES TYRANNOSAURIDÉS

Une série de nouveaux fossiles de tyrannosaures montre que le groupe des tyrannosauroïdes était très divers, et qu'il a mis très longtemps avant de produire des espèces géantes, comme *Tyrannosaurus rex*.

①

Kileskus Découverte en Sibérie centrale, cette espèce de taille humaine et l'espèce anglaise **Proceratosaurus** sont les plus anciens tyrannosaures connus à ce jour.

②

Guanlong Ce tyrannosaure chinois était doté d'une crête osseuse, peut-être un attribut sexuel et un moyen d'intimider les rivaux.

③

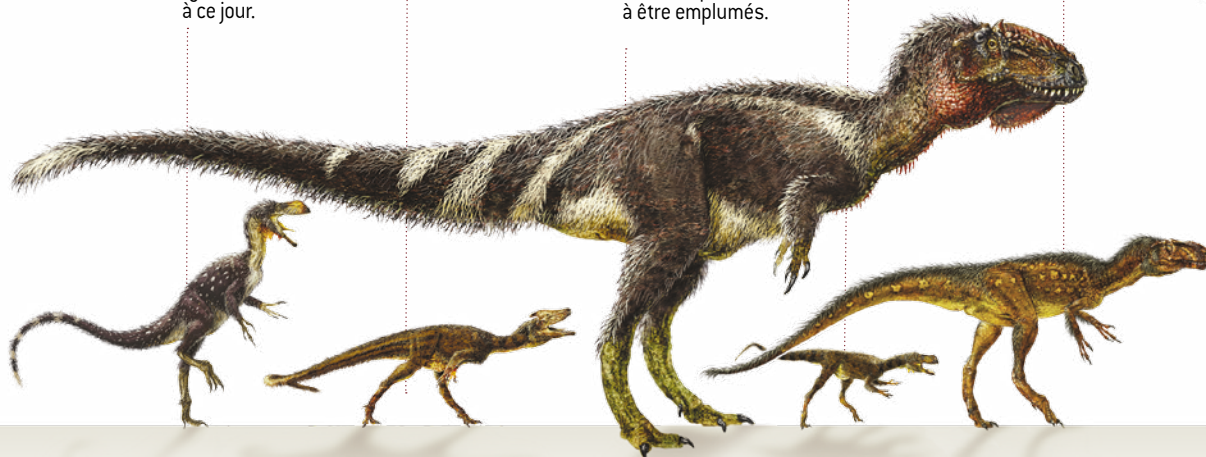
Yutyrannus Les fossiles de ce tyrannosaure chinois de grande taille étaient couverts de duvet, ce qui prouve que les petits tyrannosaures n'étaient pas les seuls à être emplumés.

④

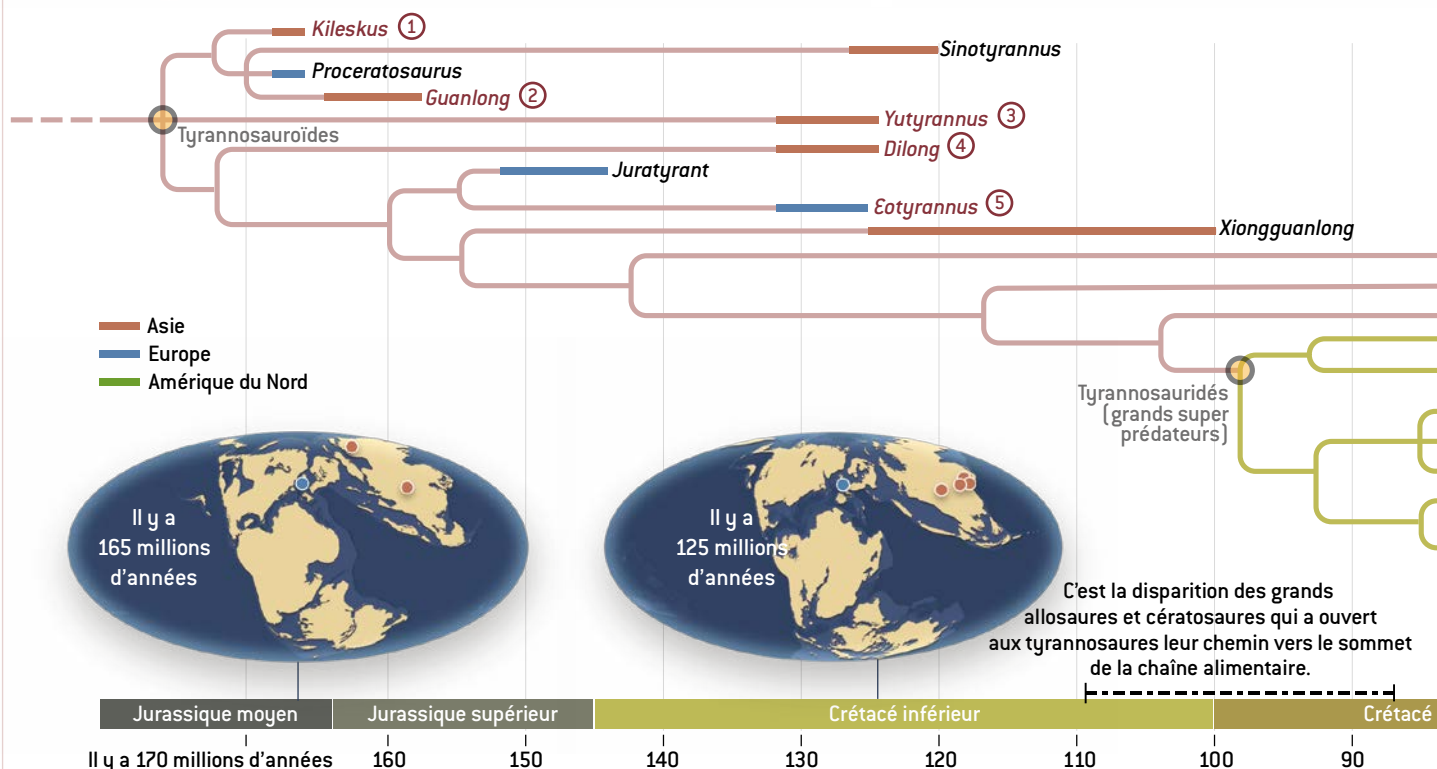
Dilong La plus petite des espèces connues de tyrannosaures était bâtie pour la vitesse.

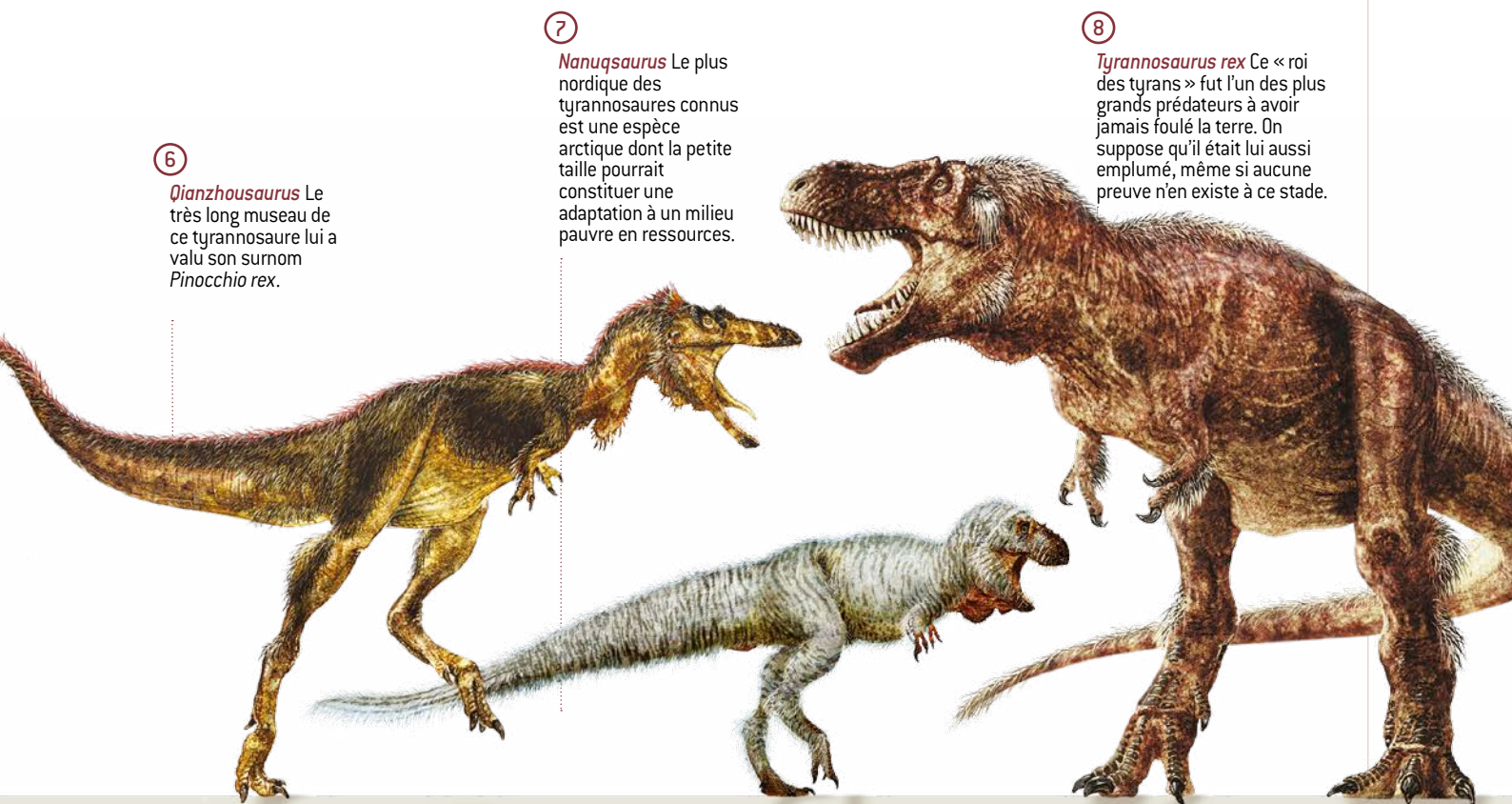
⑤

Eotyrannus Les fossiles de cette espèce à longs doigts proviennent de l'île de Wight, au sud de l'Angleterre.



DE DÉBUTS MODESTES...

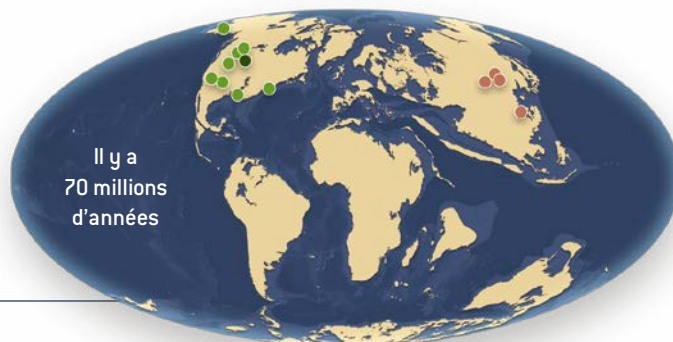
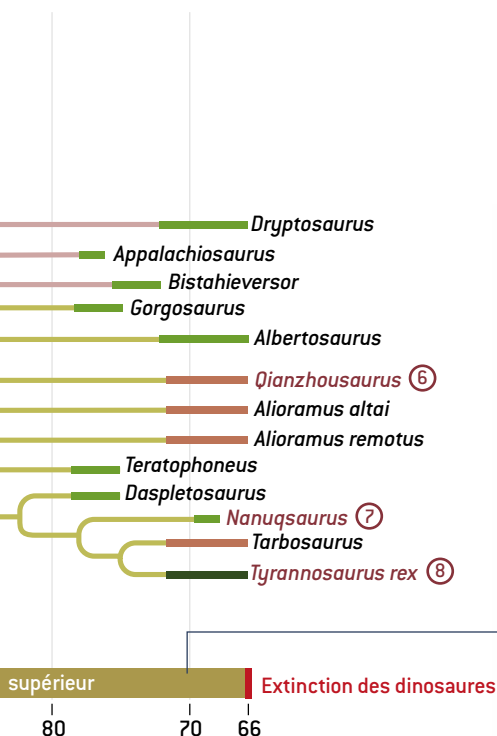




... AU STATUT DE ROI DES ANIMAUX

LA BIOGÉOGRAPHIE DES TYRANNOSAURES

Le registre fossile montre que le groupe des tyrannosaures a occupé un territoire bien plus grand qu'on ne le pensait. En effet, les paléontologues ont fait de nouvelles découvertes non seulement aux États-Unis, mais aussi en Chine, en Russie. Si les tyrannosaures ont pu autant se disperser, c'est parce que durant leur diversification, les masses continentales se touchaient encore.



© SOURCE: PLATE TECTONIC AND PALEOGEOGRAPHIC MAPS BY C. R. SCOTSE, PALEOMAP PROJECT, 2009 (MAPS)

constituaient pour les tyrannosaures (qui ne volaient pas!) à la fois une protection thermique et un ornement. La présence de plumes sur des tyrannosaures et sur beaucoup d'autres dinosaures suggère que le grand *T. rex* aussi était emplumé. Cela nous donne du pire des tyrans de la nature une curieuse nouvelle vision : celle d'une sorte de gigantesque oisillon, intelligent et énergique...

Une transition au milieu du Crétacé

Les découvertes réalisées en Russie, en Chine et ailleurs montrent que les tyrannosaures ont prospéré entre le Jurassique moyen (175,6 à 161,2 millions d'années) et le Crétacé inférieur (146 à 100 millions d'années). Ils n'étaient peut-être pas encore

raison simple : le Crétacé moyen ne nous a légué que très peu de fossiles. Il est possible que l'augmentation de la température terrestre moyenne et les fluctuations du niveau marin qui se sont produites il y a 94 millions d'années soient en cause.

Quoi qu'il en soit, les tyrannosaures ont prospéré lorsqu'ils ont atteint le sommet de la chaîne alimentaire. Au cours des derniers 20 millions d'années du Crétacé, ils ont régné en maîtres en Amérique du Nord et en Asie, où ils sont devenus d'étranges superprédateurs pesant des tonnes, dotés de petits bras et d'un crâne imposant. Ils mordaient si violemment leurs proies qu'ils leur brisaient souvent les os. Jeunes, ils devaient croître vite pour survivre, de sorte qu'ils prenaient plusieurs kilogrammes par jour. Pour autant, leur vie était si rude que les paléontologues n'ont toujours pas découvert de spécimen âgé de plus d'une trentaine d'années.

Curieusement, quelle qu'ait été leur domination en Amérique du Nord et en Asie, ces colosses ne semblent pas s'être implantés en Europe ou sur les continents du sud, où vivaient d'autres groupes de grands prédateurs. Cela s'expliquerait par le climat et par la configuration des continents au Crétacé supérieur. La planète était devenue à cette époque très différente de celle où les premiers tyrannosaures avaient vécu. Continuant à se désolidariser les uns des autres, les continents avaient atteint des positions proches de celles qu'ils occupent aujourd'hui. La montée du niveau des océans avait coupé l'Amérique du Nord en deux et réduit l'Europe à un vaste archipel de petites îles. La surface de la Terre aux temps des *T. rex* était donc très fragmentée. Les superprédateurs d'une région donnée ne pouvaient pas en conquérir une autre, car ils ne pouvaient y accéder!

On pourrait s'attendre à ce que les tyrannosaures aient éliminé leurs concurrents plus petits. Or c'est le contraire qui semble vrai, puisque le registre fossile révèle l'existence d'une grande diversité de tyrannosaures occupant des positions variées tout au long de la chaîne alimentaire. Cette situation semble avoir persisté jusqu'à la fin du Crétacé.

Qianzhousaurus, le tyrannosaure au nez de Pinocchio mis au jour à Ganzhou, en est le parfait exemple. En 2013, lors d'un congrès, mon collègue Junchang Lü, de l'Institut de géologie de l'Académie chinoise des sciences, m'a montré des photographies



Junchang Lü Chinese Academy of Geological Sciences Institute of Geology

QIANZHOSAURUS, découvert sur un chantier chinois en 2010, était un tyrannosaure à long museau. Il partageait son habitat avec des tyrannosaures bien plus massifs, sans doute parce qu'il s'intéressait à de plus petites proies qu'eux, qu'il chassait en les coursant.

devenus des superprédateurs, mais ils constituaient un groupe de chasseurs furtifs et rapides, bien établis au sein de niches écologiques stables.

Mais entre 85 et 110 millions d'années, au beau milieu du Crétacé, les conditions ont changé. L'écosystème des dinosaures s'est radicalement restructuré, ce qui s'est notamment traduit par la disparition presque complète des allosaures et des cératosaures. Bien que ces grands prédateurs aient très longtemps occupé le sommet de la pyramide alimentaire, ils ont été remplacés par les tyrannosaures, devenus les superprédateurs de tous les continents septentrionaux.

Les raisons exactes de ce grand changement n'ont pas été élucidées, pour une

du spécimen. J'en suis resté bouche bée : ce que je voyais était un tyrannosaure de l'extrême fin du Crétacé, mais il était très différent de *T. rex*. Mesurant entre 8 et 9 mètres de long, donc nettement plus petit, il ne pesait vraisemblablement qu'une tonne. Contrairement à celui de *T. rex*, armé d'une mâchoire apte à broyer tout adversaire, son crâne était long et délicatement constitué.

Junchang Lü m'a invité à l'aider à décrire la nouvelle espèce, car j'avais déjà étudié de près deux tyrannosaures à long museau découverts il y a environ 40 et 10 ans. Ces dinosaures avaient alors plongé les paléontologues dans une grande perplexité. La première de ces formes, *Alioramus remotus*, a d'abord été connue par un squelette incomplet qu'une équipe russe mit au jour en Mongolie dans les années 1970. Ces chercheurs avaient souligné son aspect anormal. Comme, au cours de la guerre froide, peu de paléontologues ont eu la possibilité de l'étudier, on a continué à se demander s'il s'agissait d'une nouvelle espèce atypique ou d'un jeune représentant de l'espèce *Tarbosaurus*, déjà connue.

Plusieurs tyrannosaures à long museau

Cette incertitude dura jusqu'au début des années 2000, quand une équipe américano-mongole dirigée par mon directeur de thèse, Mark Norell, du Muséum américain d'histoire naturelle, découvrit un spécimen d'*Alioramus* bien plus complet et mieux conservé. Mark Norell me demanda alors de l'étudier. C'est ainsi qu'en 2009 nous propositions une nouvelle espèce : *Alioramus altai*. Ce fossile semblait distinct de *Tarbosaurus* ; toutefois, comme le squelette dont nous disposions était celui d'un individu juvénile (ce que révélait la structure interne des os), on ne pouvait exclure que ses traits particuliers soient la conséquence d'une croissance incomplète.

Une fois n'est pas coutume, cette question paléontologique a été tranchée seulement quelques années plus tard, grâce à la découverte fortuite de 2010, à Ganzhou. Le squelette de *Qianzhousaurus* mis au jour avait en effet le même long museau, la même constitution délicate et la même petite taille qu'*Alioramus*, mais il était clair qu'il appartenait à un individu beaucoup plus âgé. Cela nous permit de conclure que les tyrannosaures à long museau

constituaient à la toute fin du Crétacé un groupe asiatique occupant une position intermédiaire dans la chaîne alimentaire par rapport à celle de *Tarbosaurus* et de ses semblables.

Qianzhousaurus n'était pas le seul petit tyrannosaure cohabitant avec les poids lourds de son groupe. Deux mois environ avant la publication de notre description de *Qianzhousaurus*, mes collègues Anthony Fiorillo et Ronald Tykoski, du muséum Perot à Dallas, ont découvert près du cercle polaire un tyrannosaure de la fin du Crétacé encore plus étrange : *Nanuqsaurus*. Il ne reste de lui que quelques ossements similaires à ceux de *T. rex*, mais deux fois plus petits. Les os comportant des sutures épaissies qui ne s'observent que chez des adultes, Anthony Fiorillo et Ronald Tykoski ont supposé que la pauvreté en ressources du milieu polaire a entraîné une tendance au nanisme, tout comme de nombreux animaux insulaires sont plus petits que leurs congénères continentaux. L'idée est donc que les *T. rex* monstrueux du sud avaient des cousins de taille réduite dans le Grand Nord.

Les nouveaux fossiles de tyrannosaures nous ont beaucoup appris sur l'évolution de leur groupe. Plusieurs questions essentielles demeurent cependant. Quelle est l'origine des tyrannosaures ? Est-elle antérieure au Jurassique moyen ? Date-t-elle du Jurassique inférieur, période pour laquelle nous avons très peu de fossiles ? Des tyrannosaures ont-ils vécu sur les continents de l'hémisphère Sud entre le Jurassique moyen et le Crétacé moyen ?

La plupart des nouveaux fossiles tyrannosauriens ont été retrouvés dans l'hémisphère Nord. Or nous savons qu'au Jurassique et Crétacé moyens de nombreux groupes de dinosaures avaient une répartition planétaire... Des inconnues subsistent aussi quant à la biologie des tyrannosaures : de quelles sortes de plumes *T. rex* était-il recouvert et à quoi servaient-elles ? À quoi servait le long museau de *Qianzhousaurus* et *Alioramus* ?

Bien que très incomplète, l'histoire des tyrannosaures montre une fois de plus que l'évolution est imprévisible. Personne n'aurait pensé que, en 170 millions d'années, on passerait d'animaux chétifs à de féroces géants dominant les chaînes alimentaires de plusieurs continents, ni que, il y a 66 millions d'années, l'impact d'une météorite mettrait brutalement un terme à leur règne. ■

T. rex, charognard ou chasseur ?

***Tyrannosaurus rex* était chasseur : on a retrouvé une de ses dents fichée dans la vertèbre d'un autre dinosaure. Ses mâchoires pouvaient exercer des forces de 20 tonnes. Mais il ne courait pas vite, et, comme la taille de ses bulbes olfactifs suggère qu'il avait un odorat développé pouvant lui permettre de repérer une carcasse à des kilomètres, certains paléontologues proposent que *T. rex* était un charognard. Alors, charognard ou chasseur ? Les deux, sans doute !**

■ BIBLIOGRAPHIE

- J. Lü *et al.*, A new clade of Asian late Cretaceous long-snouted Tyrannosaurids, *Nature Communications*, vol. 5, article 37898, 2014.
- A. R. Fiorillo et R. S. Tykoski, A diminutive new Tyrannosaur from the top of the world, *PLoS One*, vol. 9(3), article e91287, 2014.
- S. Brusatte *et al.*, New research on ancient exemplar organisms, *Science*, vol. 329, pp. 1481-1485, 2010.
- M. Schweitzer, Dinosaures : on a retrouvé leur sang, *Pour la Science* n°402, avril 2011.
- G. M. Erickson, La vie de *Tyrannosaurus rex*, *Dossier Pour la Science*, n° 48, 2005.

