

Les maîtres des océans jurassiques

RYOSUKE MOTANI

Pendant que les dinosaures étaient les maîtres des continents, les ichthyosaures, des reptiles aux allures de poissons, régnaient sur les océans. Les paléontologues viennent de reconstituer l'histoire de leur évolution et de leur remarquable adaptation.



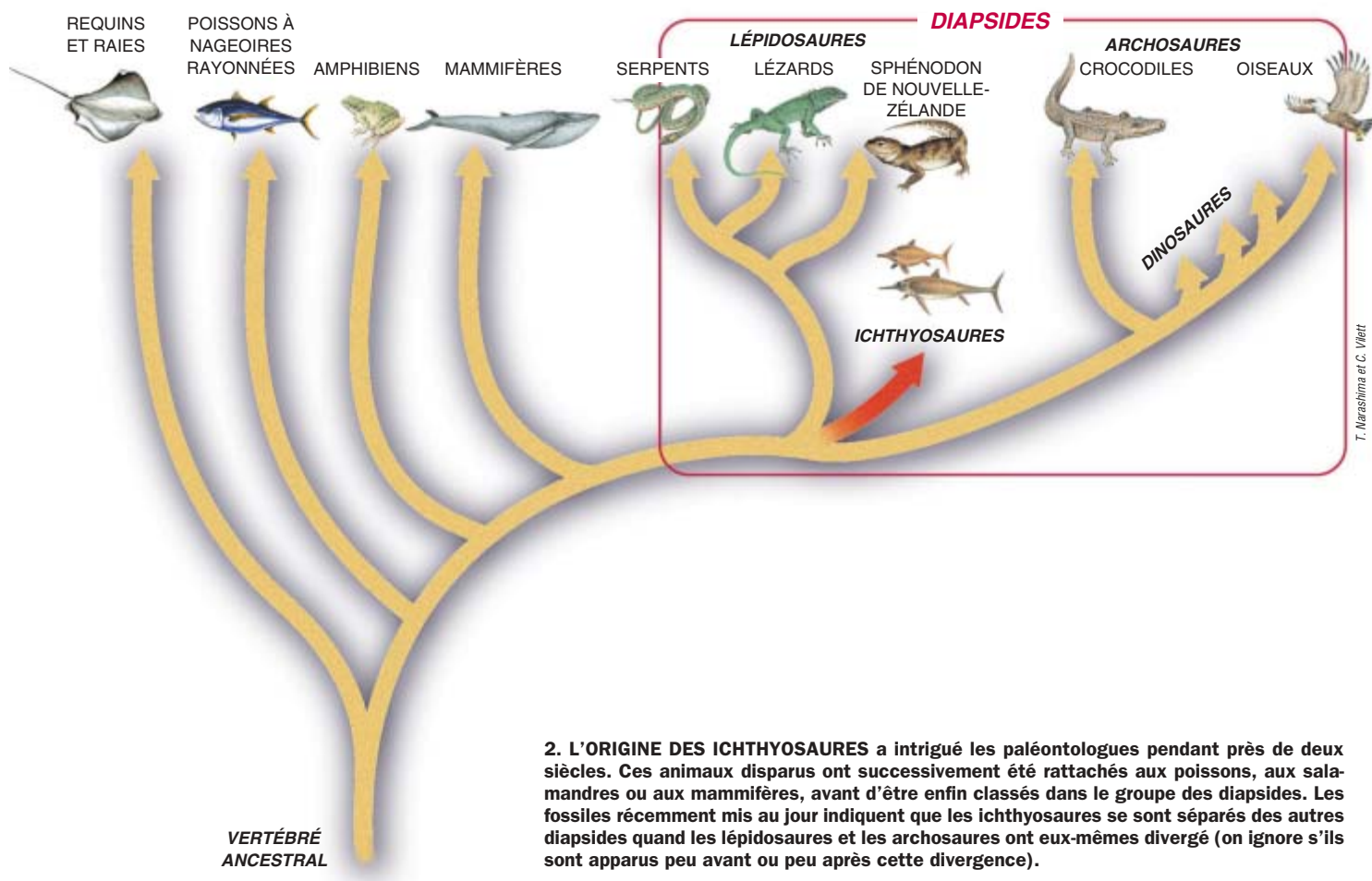
Karen Carr



Il y a 160 millions d'années, au Jurassique, les dinosaures régnaient sur le monde. Un soir d'automne, les rayons du soleil couchant traversent à peine la surface miroitante de l'océan, où une ombre furtive apparaît, entre les falaises d'une faille volcanique sous-marine. Un animal remonte à la surface pour reprendre sa respiration. Long de près de quatre mètres, il ressemble à une petite baleine, mais l'apparence est trompeuse, car les baleines n'apparaîtront que 100 millions d'années plus tard. Soudain, avec son long rostre armé de dents, il s'attaque à un banc de calamars.

Cet animal est un *Ophthalmosaurus*, l'une des 80 espèces d'ichthyosaures que nous connaissons, des monstres marins dont le nom signifie «reptiles-poissons». Le plus petit de ces animaux mesurait moins d'un mètre, tandis que le plus grand dépassait les 15 mètres de longueur. De taille moyenne, *Ophthalmosaurus* n'était pas le plus agressif de tous. Sa compagnie devait certainement être moins déplaisante que celle du féroce *Temnodontosaurus*, le «lézard aux dents tranchantes», qui se repaissait de grands vertébrés.

1. LES ICHTHYOSAURES ont été les maîtres des océans pendant 155 millions d'années.



T. Narashima et C. Velt

2. L'ORIGINE DES ICHTHYOSAURES a intrigué les paléontologues pendant près de deux siècles. Ces animaux disparus ont successivement été rattachés aux poissons, aux salamandres ou aux mammifères, avant d'être enfin classés dans le groupe des diapsides. Les fossiles récemment mis au jour indiquent que les ichthyosaures se sont séparés des autres diapsides quand les lépidosaures et les archosaures ont eux-mêmes divergé (on ignore s'ils sont apparus peu avant ou peu après cette divergence).

Lorsque les paléontologues ont découvert les premiers fossiles d'ichthyosaures, au début du XIX^e siècle, ils n'en croyaient pas leurs yeux ! Les dinosaures étaient encore inconnus. Aussi, les ichthyosaures semblaient-ils d'autant plus mystérieux et fascinants. L'étude de ces fossiles a révélé que les ichthyosaures ne descendaient pas des poissons, mais d'animaux terrestres (qui descendaient eux-mêmes d'un poisson ancestral). Comment les ichthyosaures s'étaient-ils adaptés à la vie aquatique ? À quels animaux étaient-ils apparentés ? Pourquoi avaient-ils des vertèbres en forme de palets, qui semblaient empilées les unes sur les autres pour former la colonne vertébrale, et des yeux aussi gros que des boules de bowling ?

Aujourd'hui, près de deux siècles plus tard, nous venons seulement de comprendre les transformations qu'ont subies ces reptiles côtiers pour devenir des créatures de haute mer. Dans

les années 1830, la découverte de dinosaures, tel l'*Iguanodon*, fit sensation et accapara toute l'attention des paléontologues. L'intérêt pour les reptiles-poissons s'est estompé jusqu'à ces dernières années, lorsque de nouveaux fossiles ont été mis au jour au Japon et en Chine.

Des origines obscures

Bien que les ichthyosaures soient tombés dans l'oubli peu après 1800, quelques paléontologues ont continué à s'y intéresser. Dès le début, ils avaient remarqué qu'ils s'étaient très bien adaptés à la vie marine. Les ichthyosaures ont commencé à hanter les océans il y a 245 millions d'années et se sont éteints il y a 90 millions d'années environ. Leur règne a duré presque aussi longtemps que celui des dinosaures. Les fossiles d'ichthyosaures proviennent du monde entier, ce qui témoigne de leurs

grandes capacités migratoires, à l'instar des baleines actuelles. Malgré leur aspect de poisson, les ichthyosaures étaient des reptiles à respiration aérienne, dépourvus de branchies : leurs crânes et leurs mâchoires présentent des caractères typiquement reptiliens. En outre, ils avaient quatre membres (les poissons en sont dépourvus), ce qui indique que leurs ancêtres vivaient sur la terre ferme.

Les paléontologues ont tiré ces conclusions de l'étude des squelettes d'ichthyosaures tardifs, aux allures de poisson. Les premiers ossements d'ichthyosaures plus primitifs n'ont été découverts qu'en 1927. Au cours de leur évolution, ces animaux sont devenus pisciformes : les membres trapus se sont transformés en nageoires, un aileron est apparu sur le dos et un autre sur le lobe dorsal de la queue. Ils s'étaient si bien adaptés à la vie en haute mer, qu'ils avaient perdu les caractères, tels l'os du



Le plus petit ichthyosaure était plus court qu'un bras humain,

poignet ou de la cheville, grâce auxquels on aurait pu identifier leurs lointains cousins, restés vivre sur la terre ferme. Tant qu'ils n'avaient pas reconstitué de squelettes complets des premiers ichthyosaures, les paléontologues savaient seulement qu'ils ressemblaient à des lézards dotés de nageoires.

Manquant d'informations sur leurs origines, les paléontologues ont successivement rattaché les ichthyosaures à tous les groupes de vertébrés : les reptiles, les amphibiens et les mammifères. Au XX^e siècle, les relations entre espèces animales se sont éclaircies. Les paléontologues ont alors classé les ichthyosaures dans les reptiles du groupe des diapsides qui comprend les serpents, les lézards, les crocodiles et les dinosaures. La date où ils se sont différenciés des autres membres du groupe est restée un sujet de controverses, jusqu'à ce que l'on découvre les plus anciens ichthyosaures du monde.

La première découverte importante a eu lieu sur la côte Nord-Est de Honshu, la plus grande île du Japon, dans les gisements d'ardoise de la page.

Dans cette roche noire, les Japonais taillent des encriers dont ils se servent en calligraphie. Ces gisements renfermaient des ossements du plus ancien ichthyosaure, un *Utatsusaurus*. En 1982, un groupe de géologues d'Hokkaido a découvert deux squelettes quasiment complets. Nachio Minoura et ses collègues ont passé près de 15 ans à les extraire de leur gangue d'ardoise : les os étaient si fragiles qu'ils ont dû procéder avec une précaution extrême, à l'aiguille et à la loupe.

En 1995, alors que la mise au jour touchait à sa fin, N. Minoura, qui connaissait mon intérêt pour ces reptiles disparus, m'a invité à rejoindre son équipe. Dès que j'ai vu le squelette d'*Utatsusaurus*, j'ai compris qu'il s'agissait d'un ichthyosaure primitif, car il ressemblait à un lézard pourvu de nageoires. La même année, You Hailu, de l'Institut de paléontologie des vertébrés et de paléoanthropologie de Beijing, m'a montré un second spécimen qu'il venait de découvrir : un *Chaohusaurus*, un autre ichthyosaure primitif dont on avait déjà retrouvé des fragments, mais dont le squelette était cette fois-ci beaucoup

plus complet. Mis au jour dans des sédiments du même âge que ceux qui avaient livré les restes d'*Utatsusaurus*, ce spécimen avait un corps mince, ressemblant à celui d'un lézard.

Grâce à *Utatsusaurus* et *Chaohusaurus*, qui avaient encore quelques caractères de leurs ancêtres terrestres, on a placé les ichthyosaures sur l'arbre phylogénique des vertébrés : d'après la forme du crâne et des membres, les ichthyosaures se seraient séparés des autres diapsides en même temps que divergeaient les deux grands groupes de reptiles actuels, les lépidosaures (les serpents et les lézards) et les archosaures (les crocodiles et les oiseaux). Toutefois, leur évolution demeurait mystérieuse.

Des pattes aux nageoires

En étudiant les deux ichthyosaures découverts en Asie, les paléontologues ont compris comment leurs descendants s'étaient adaptés à la vie en haute mer. La transformation la plus évidente est celle des pattes, qui sont devenues des nageoires. Chez la plupart des animaux à quatre

3. LES FOSSILES d'ichthyosaures primitifs, tel *Chaohusaurus* (à droite) ont révélé comment ces animaux aux allures de lézard ont évolué en créatures marines de haute mer, tel *Stenopterygius* (ci-dessous, en train de donner naissance à un petit).

R. Motani



Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart

le plus grand était plus long qu'un bus de ville

CHAOHUSAURUS GEISHANESIS
de 0,5 à 0,7 mètre de longueur ;
vivait il y a 245 millions d'années (au Trias inférieur)

MIXOSAURUS CORNALIANUS
de 0,5 à 1 mètre de longueur ;
vivait il y a 235 millions d'années (au Trias moyen)

OPHTHALMOSAURUS ICENICUS
de 3 à 4 mètres de longueur ;
vivait il y a 165 à 150 millions d'années (au Jurassique moyen et supérieur)

— AILERON DORSAL

NAGEOIRE CAUDALE —

Ed Heck

4. L'ÉTUDE DES SQUELÈTES a révélé que le corps mince et comparable à celui d'un lézard des premiers ichthyosaures (en haut) s'est progressivement épaissi pour prendre la forme d'un poisson (en bas). Un aileron dorsal et une nageoire caudale sont apparus.

pattes, les os des membres antérieurs sont allongés et on distingue facilement ceux du poignet (irrégulièrement arrondis) de ceux de la paume (allongés et cylindriques). En revanche, chez les ichthyosaures pisciformes, les os du membre antérieur sont plus larges que longs et ont tous la même forme. Ils sont très proches les uns des autres, car aucune peau ne les sépare : la réunion de tous les doigts dans une même enveloppe de tissus mous devait augmenter la rigidité des nageoires, comme on l'observe aujourd'hui chez les baleines, les dauphins ou les tortues marines ; cet arrangement devait aussi améliorer leur hydrodynamisme (le profilé serait impossible à maintenir si les doigts étaient séparés).

L'étude des fossiles intermédiaires entre les ichthyosaures en forme de

lézard et leurs descendants en forme de poisson a révélé que l'évolution de la patte vers la nageoire ne s'est pas limitée à une simple transformation des cinq doigts. Au contraire, des doigts ont disparu, d'autres sont apparus et certains se sont divisés. Par exemple, le pouce présent chez les formes ancestrales disparaît chez les ichthyosaures plus évolués. L'ordre dans lequel les doigts s'ossifient au cours de la croissance d'un *Stenopterygius* (nous en possédons de nombreux spécimens à différents stades de croissance) révèle qu'au cours de l'évolution de cet ichthyosaure, des doigts supplémentaires sont apparus de part et d'autre de ceux qui existaient déjà. Certains occupaient la position du pouce disparu. L'évolution n'a donc pas suivi une ligne directe et continue d'un caractère à un autre.

Une colonne vertébrale bâtie pour la nage

Les nouveaux fossiles aux allures de lézard expliquent la structure vertébrale de leurs descendants pisciformes. Les vertèbres des ichthyosaures évolués sont des sortes de palets. Les paléontologues pensaient que cette forme, rare chez les diapsides, était typique des ichthyosaures. Cependant, les nouveaux spécimens asiatiques ont une colonne vertébrale étroite, constituée de vertèbres cylindriques. Au cours de l'évolution des ichthyosaures, le diamètre des vertèbres semble avoir augmenté notablement, tandis que leur hauteur diminuait.

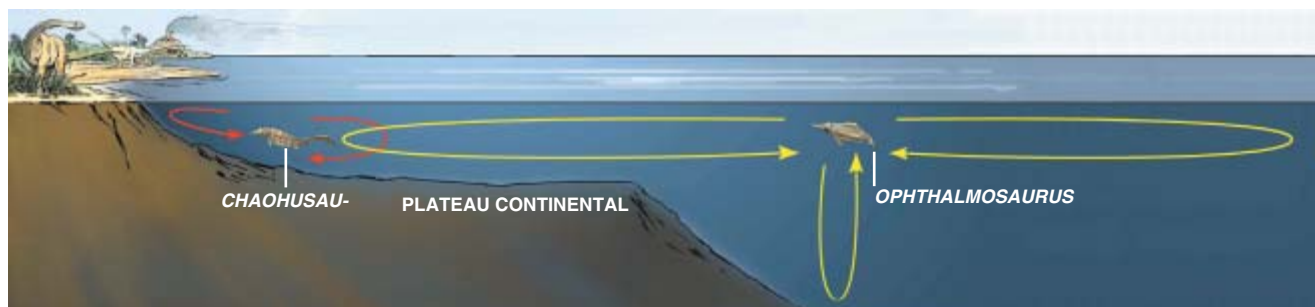
Avec mes collègues, nous nous sommes demandé pourquoi et nous avons trouvé la réponse en observant la nage des requins d'aujourd'hui. À l'instar des ichthyosaures, les requins ont des tailles et des formes variées. Semblable aux ichthyosaures primitifs, la roussette est mince et sa nageoire caudale n'est pas bilobée. En revanche, le grand requin blanc a un corps massif et une nageoire caudale en croissant, comme les ichthyosaures les plus évolués. Les grands requins blancs nagent en ne remuant que la queue, tandis que tout le corps des roussettes ondule. La nage ondulante requiert un corps flexible. Les roussettes en sont dotées, parce qu'elles ont près de 40 vertèbres dans la partie antérieure du corps. Les ichthyosaures primitifs *Utatsusaurus* et *Chaohusaurus* en ont autant (les reptiles et les mammifères actuels n'en ont qu'une vingtaine).

La nage ondulante de la roussette est adaptée aux eaux relativement peu profondes du plateau continental. Les lézards actuels ondulent aussi pour nager, mais avec moins d'efficacité que les animaux aquatiques. Les premiers ichthyosaures, qui ressemblaient à des roussettes et qui descendaient d'un ancêtre aux allures de lézard, devaient nager de la même façon et vivre sur le plateau continental.

Les prédateurs qui utilisent ce type de nage prospèrent près du rivage, où la nourriture abonde, mais ne peuvent pas parcourir de longues distances pour trouver leurs proies. Les prédateurs de haute mer, où la nourriture est moins concentrée, ont un type de nage



Les ichthyosaures sont les seuls reptiles dont le corps



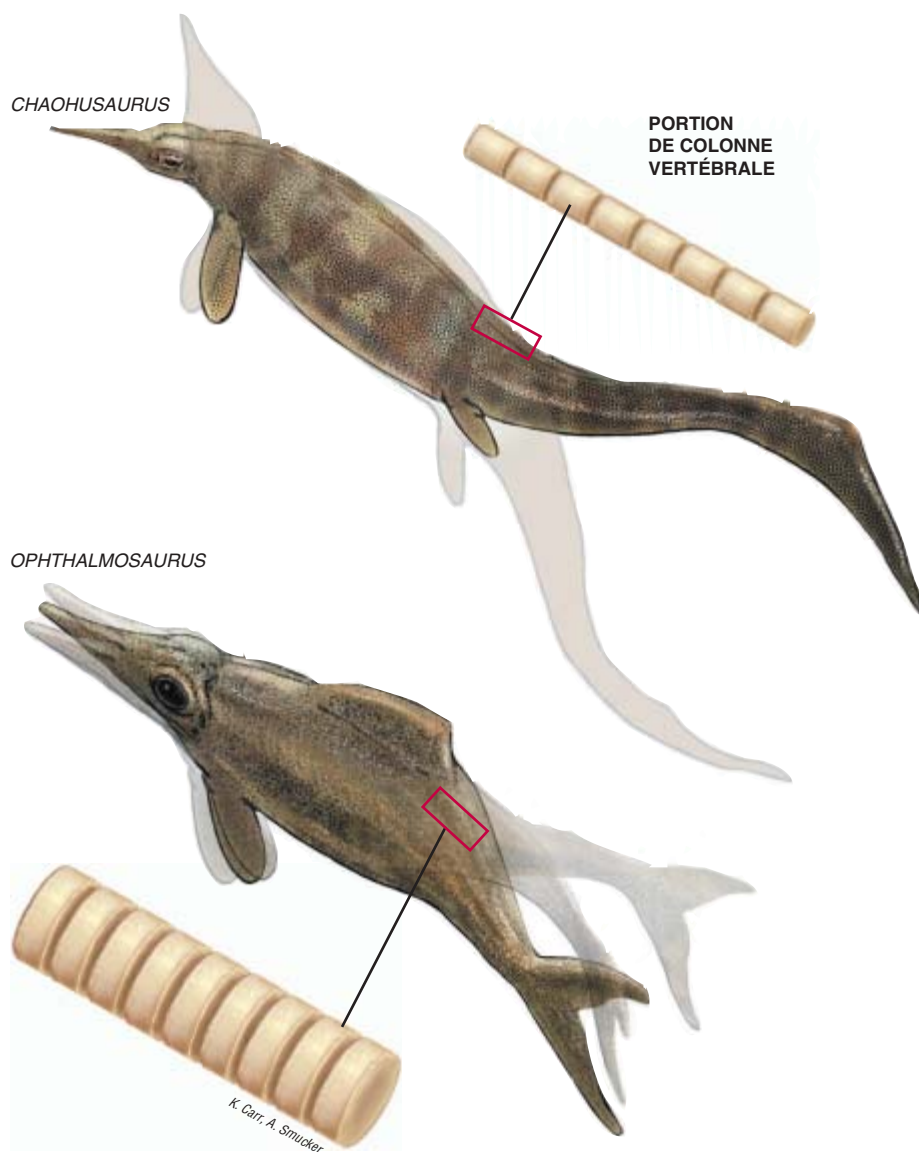
5. LA NAGE (ci-contre) et l'habitat (ci-dessus) des ichthyosaures se sont modifiés en même temps que la forme de leurs vertèbres. Les ichthyosaures primitifs, tel *chaohusaurus*, avaient une colonne vertébrale étroite et ils ondulaient comme des anguilles. Leur agilité leur permettait de chasser dans les eaux peu profondes. En revanche, chez les ichthyosaures ultérieurs, tel *Ophtalinosaurus*, la colonne vertébrale s'est épaissie : les vertèbres se sont raccourcies et le corps s'est raidi. Pendant la nage, seule la queue oscillait latéralement. Cette rigidité du corps a réduit la dépense énergétique lors de la nage, donc la consommation d'oxygène : les ichthyosaures ont commencé à plonger pour chasser en haute mer.

plus économique. Les grands requins blancs, dont le corps rigide n'ondule pas, se propulsent uniquement en faisant osciller leur nageoire caudale en forme de croissant. Les ichthyosaures évolués avaient ce type de nageoire caudale, et ils devaient nager comme les grands requins blancs, étant donné l'allure trapue de leur corps.

L'appel des profondeurs

L'étude de nombreuses espèces de requins a montré que plus le corps s'épaissit, plus le diamètre des vertèbres augmente. Les requins (et les ichthyosaures primitifs) doivent leur souplesse à leur grand nombre de vertèbres. À mesure que le corps des ichthyosaures devenait plus massif, le nombre de vertèbres restait stable, mais leur diamètre augmentait de près de 50 pour cent (elles prenaient l'apparence de palets) : les ichthyosaures perdaient de leur souplesse.

Lorsque les ichthyosaures ont gagné la haute mer, leur zone de chasse en surface s'est agrandie et ils ont commencé à explorer les profondeurs. L'étude du contenu stomacal fossilisé de certains ichthyosaures pisciformes a montré qu'ils se nourrissaient prin-



cipalement de céphalopodes (les pieuvres, les calamars, les seiches). Les cachalots chassent entre 100 et 1 000 mètres de profondeur, atteignant parfois 3 000 mètres. L'étendue de cette zone de chasse n'est pas surprenante, car les ressources nutritives sont rares

au-dessous de 200 mètres. Pour chasser en profondeur, les baleines et autres animaux aquatiques qui respirent à l'air libre doivent plonger et remonter à la surface avec une seule prise d'air. La consommation d'énergie pendant la nage est minimisée pour économiser

a pris une forme de poisson, au cours de leur évolution



DIAMÈTRE MAXIMAL DE L'ŒIL :



ÉLÉPHANT D'AFRIQUE
5 CENTIMÈTRES



BALEINE BLEUE
15 CENTIMÈTRES



OPHTHALMOSAURUS
23 CENTIMÈTRES



CALAMAR GÉANT
25 CENTIMÈTRES



TEMNODONTOSAURUS
26 CENTIMÈTRES



T. Narashima, E. Bell, R. Motani

les réserves d'oxygène. Aujourd'hui, les animaux qui plongent à de grandes profondeurs ont, à l'instar des ichthyosaures pisciformes, un corps hydrodynamique qui réduit les frottements.

Outre le régime alimentaire et les caractéristiques morphologiques, d'autres indices révèlent que certains ichthyosaures plongeaient en profondeur. La capacité d'un animal plongeur à rester sous l'eau dépend de la forme de son corps. Plus il est lourd, plus il peut stocker d'oxygène dans ses muscles, dans son sang et dans divers organes, et plus sa consommation d'oxygène par kilogramme est réduite. À mesure que le corps des ichthyosaures est devenu plus rigide, leur masse et leur volume ont augmenté. Les premiers ichthyosaures pisciformes étaient jusqu'à six fois plus lourds que leurs ancêtres aux allures de lézard, à longueur égale. Puis, leur longueur, et par conséquent leur volume, ont encore augmenté. D'après les calculs des capacités des animaux plongeurs d'aujourd'hui (surtout des mammifères et des oiseaux), un *Ophthalmosaurus* d'environ 950 kilogrammes pouvait retenir sa respiration pendant 20 minutes, ce qui lui laissait le temps de descendre à plus de 600 mètres de profondeur, voire d'atteindre 1 500 mètres.

L'étude des os confirme les capacités de plongeur des ichthyosaures. Chez les tétrapodes terrestres, les os des membres et les côtes sont recouverts d'une enveloppe dense, qui augmente la résistance et participe au soutien du corps sur la terre. En revanche, comme les vertébrés

6. LES YEUX DES ICHTHYOSAURES étaient particulièrement grands. L'étude des anneaux sclérotiques (les os de l'orbite oculaire) ont révélé qu'*Ophthalmosaurus* avait les plus grands yeux de tous les animaux actuels ou disparus (par rapport à la taille du corps), et que ceux de *Temnodontosaurus* étaient les plus grands. La forme beige, en arrière plan sur le schéma, indique la taille réelle de l'anneau sclérotique d'*Ophthalmosaurus*. En bas, un anneau sclérotique bien conservé de *Stenopterygius*.



Les ichthyosaures avaient les plus grands yeux de tous les animaux, actuels ou disparus

marins flottent, une telle enveloppe est inutile. Des os lourds (qui ne stockent quasiment pas d'oxygène) empêcheraient les animaux plongeurs de remonter à la surface. Armand de Ricqlès et ses collègues du Laboratoire d'anatomie comparée de l'Université Paris VII ont montré que chez les mammifères actuels adaptés à la plongée, tel le dauphin, l'os est spongieux et moins dense. Les os des ichthyosaures pisciformes ont le même type d'enveloppe spongieuse : pour eux aussi, un squelette plus léger constituait un avantage.

La meilleure preuve de l'adaptation à la plongée profonde des derniers ichthyosaures est la taille de leurs yeux : 23 centimètres de diamètre pour *Ophthalmosaurus*. Par rapport à la taille du corps, cet ichthyosaure avait les yeux les plus gros de tous les animaux, actuels ou disparus.

On déduit de la taille des yeux que la vue des ichthyosaures s'est améliorée au cours de leur évolution. L'anneau sclérotique, un os qui soutenait l'œil, évitait que ce dernier ne se déforme sous l'effet de la pression de l'eau, lors de la nage ou de la plongée (l'homme et ces ancêtres mammaliens ont perdu l'anneau sclérotique, mais la plupart des autres vertébrés en ont un). D'après le diamètre de cet anneau, nous avons calculé la focale de l'œil, un nombre utilisé en photographie (le rapport de la distance focale et du diamètre de la lentille) pour définir la luminosité d'un objectif. Plus ce nombre est petit, plus l'image est lumineuse et plus le temps d'exposition est réduit. Les objectifs médiocres ont une focale de 3,5 ou plus, tandis que les meilleurs ont une focale de 1. La focale de l'œil humain est de 2,1 et celle de l'œil du chat est de 0,9 : cet animal pourrait voir à 500 mètres de profondeur sous l'eau. *Ophthalmosaurus* avait aussi une focale de 0,9, mais ses yeux étaient beaucoup plus gros, de sorte que sa vision devait être encore meilleure que celle du chat.

Disparus à jamais

De nombreuses caractéristiques des ichthyosaures (la forme du corps et des vertèbres, la taille des yeux, les capacités respiratoires, le régime alimentaire et l'habitat) se sont modifiées au cours de leur évolution. Bien qu'il soit difficile de distinguer les causes des conséquences, ces transformations ne semblent pas s'être produites indépendamment les unes des autres. Grâce



7. CETTE PETITE ÎLE au Nord-Est du Japon abritait deux squelettes presque complets d'*Utatsusaurus*, le plus ancien des ichthyosaures.

à elles, les ichthyosaures ont régné sur les mers pendant 155 millions d'années. Les nouveaux fossiles d'ichthyosaures «primitifs» ont fait progresser notre compréhension de leur remarquable adaptation à la vie marine, mais les causes de leur extinction restent mystérieuses.

Les ichthyosaures primitifs, limités à la vie près du rivage par leur nage ondulante peu efficace, ont peut-être disparu en même temps que leur habitat : une baisse générale du niveau des océans aurait éliminé leurs niches écologiques peu profondes. De nombreux animaux ont disparu de

cette façon. En revanche, les ichthyosaures évolués adaptés à la haute mer auraient survécu. Leur habitat n'ayant pas changé, d'autres facteurs ont concouru à leur disparition, peut-être l'apparition des premiers requins évolués. Cependant, on a pas encore trouvé d'indice d'une compétition entre ces deux groupes.

Les paléontologues n'expliqueront peut-être jamais pourquoi les ichthyosaures ont disparu, mais ils continuent néanmoins de reconstituer l'histoire de leur évolution et de la vie sur terre.

Ryosuke MOTANI est paléontologue au Musée royal de l'Ontario, au Canada.

C. MCGOWAN, *Dinosaurs, Spitfires, and Sea Dragons*, Harvard University Press, 1991.

R. MOTANI, Y. HAILU et C. MCGOWAN, *Eel-Like Swimming in the Earliest Ichthyosaurs*, in *Nature*, vol. 382, pp. 347-348, 25 juillet 1996.

R. MOTANI, N. MINOURA et T. ANDO, *Ichthyosaurian Relationships Illuminated*

by *New Primitive Skeletons from Japan*, in *Nature*, vol. 393, pp. 255-257, 21 mai 1998.

R. L. CAROLL, *Vertebrate Paleontology and Evolution*, Freeman, San Francisco, 1987.

R. MOTANI, B. ROTHSCILD et W. WAHL, *Large Eyeballs in Diving Ichthyosaurs*, in *Nature*, vol. 402, p. 747, 16 décembre 1999.

Site Internet de Ryosuke Motani : www.ucmp.berkeley.edu/people/motani/ichtyo/

