

Un jeune *Eotitanops*, qui ressemble à un tapir, s'approche de l'eau pour s'abreuver. Embusquée dans la mangrove, une bête observe la scène et salive : l'*Eotitanops* est un mets de choix. Propulsée par ses puissants membres postérieurs, elle se jette sur l'animal, enfonce ses crocs dans sa proie, puis la traîne dans l'eau. Combat inégal. Victorieuse, la bête regagne la rive pour y dévorer son festin. À première vue, ce prédateur ressemble à un crocodile : les mêmes pattes recroquevillées, la queue puissante, un long museau et des yeux vissés sur le haut du crâne. Pourtant, de plus près, sa peau n'est pas faite de cuir épais, mais recouverte de fourrure ; il n'a pas de griffes, mais des doigts, et ses dents à plusieurs pointes en font un mammifère et non un reptile. Cette créature – *Ambulocetus* – est une baleine primitive, l'un des chaînons qui relient les ancêtres des cétacés aux quelque 80 espèces de baleines, de dauphins et autres marsouins qui peuplent aujourd'hui les océans.

Les biologistes de l'évolution ont longtemps considéré l'apparition des baleines comme une énigme. Les cétacés actuels sont dépourvus de membres et incapables de vivre hors de l'eau : quels liens peuvent-ils avoir avec les mammifères ? En 1851, Herman Melville a même assimilé Moby Dick et ses congénères à des poissons ! Pourtant, les naturalistes du XIX^e siècle, et, avec eux, Charles Darwin, considéraient ces animaux au sang chaud qui allaitent leurs petits et respirent de l'air, comme des mammifères. Or, les ancêtres des mammifères étaient terrestres, de sorte que ceux des baleines devaient l'être également.

Dans son ouvrage *De l'origine des espèces*, Darwin notait qu'un ours nageant le museau hors de l'eau pour attraper des insectes aurait pu être une « idée évolutive » précédant l'apparition des baleines. La suggestion ne suscita que railleries, au point que Darwin supprima le passage dans les éditions ultérieures en se contentant de noter qu'un ours était « presque comme » une baleine.

Dans les décennies qui suivirent, ni l'étude des fossiles disponibles – incomplets ou trop tardifs – ni celle de l'anatomie des cétacés contemporains ne renseignèrent les biologistes sur l'origine des baleines. Ainsi, en 1945, dans sa classification des mammifères, le paléontologue George Simpson écrivait que la baleine a évolué dans l'océan il y a si longtemps qu'aucune trace de ses ancêtres n'a été conservée. Toutefois, durant ces 20 dernières années, des progrès considérables ont été réalisés et l'énigme est aujourd'hui partiellement résolue. Après avoir analysé des fossiles de baleines datant de l'Éocène (entre -55 et -34 millions d'années), les paléontologues pensent que les ancêtres terrestres des cétacés auraient gagné la mer durant cette période. Ils ont également découvert que les baleines à fanons ont certainement divergé des cétacés à dents durant la période suivante, l'Oligocène, et ont déduit des données fossiles et de l'étude de l'ADN des cétacés vivants, où, quand et comment les cétacés ont évolué à partir de leurs ancêtres terrestres.

Le premier indice sur l'origine des baleines fut acquis grâce à une méthode mise au point vers 1945. Alors que Simpson classait les mammifères contemporains sur des critères purement anatomiques, la nouvelle méthode consistait à comparer des animaux vivants d'après les anticorps qu'ils produisaient

en réaction à certains antigènes. Alan Boyden et ses collègues de l'Université de Rutgers appliquèrent cette technique aux mammifères, et montrèrent que les cétacés sont proches (par leurs anticorps) des mammifères à nombre pair d'orteils, ou artiodactyles, un groupe auxquels appartiennent les chameaux, les hippopotames, les cochons et les ruminants. Les baleines étaient-elles elles-mêmes des artiodactyles ? Formaient-elles une branche évolutive distincte ayant un ancêtre commun avec les artiodactyles ?

Dans les années 1960, une étude des mammifères primitifs à sabots, les condylarthes, n'ayant pas encore acquis certaines caractéristiques des artiodactyles ou d'autres ordres de mammifères fit pencher la balance en faveur de la seconde hypothèse. Leigh Van Valen, alors au Muséum d'histoire naturelle de New York, découvrit des ressemblances étonnantes entre les dents à trois pointes des quelques fossiles de baleines et celles d'un sous-groupe de condylarthes carnivore, les mésonychidés. Il trouva également des analogies entre les artiodactyles et un autre groupe de condylarthes, les arctocyonidés, proches des mésonychidés. L. Van Valen en conclut que les baleines descendent des mésonychidés et qu'elles sont liées aux artiodactyles par leur ancêtre commun, les condylarthes.

Les baleines marcheuses

Une décennie s'écoula avant qu'on ne découvre de nouveaux fossiles de baleines suffisamment proches du point de divergence, pour que l'on puisse tester l'hypothèse de L. Van Valen. En 1977, le paléontologue Philip Gingerich, de l'Université du Michigan, recherchait au Pakistan des traces de mammifères terrestres de l'Éocène dans une région où l'on en avait déjà découvertes. L'expédition était décevante : la zone ne contenait que des fossiles marins. Il n'est pas étonnant de trouver des fossiles marins au Pakistan, si loin des côtes actuelles, car, durant l'Éocène, une vaste mer, la Téthys, recouvrait régulièrement ce qui est aujourd'hui le sous-continent indien. Toutefois, parmi ces anciens poissons et des coquillages, l'équipe de paléontologues découvrit deux fragments de bassin qui semblaient provenir d'un grand animal capable de marcher. Ph. Gingerich et ses collègues s'amuserent à imaginer une « baleine marcheuse », mais sans y croire tant l'idée leur paraissait saugrenue. Ils rentrèrent dans leur laboratoire, persuadés que la plus belle pièce ramenée était une mâchoire d'artiodactyle primitif, trouvée sur un autre site.

Deux ans plus tard, dans le Nord du Pakistan, aux pieds de l'Himalaya, l'équipe de Ph. Gingerich mit au jour, parmi des restes de mammifères vieux de 50 millions d'années, un autre fossile de baleine : un fragment de crâne d'une créature de la taille d'un loup pourvu de quelques caractéristiques des cétacés (notamment en ce qui concerne l'anatomie

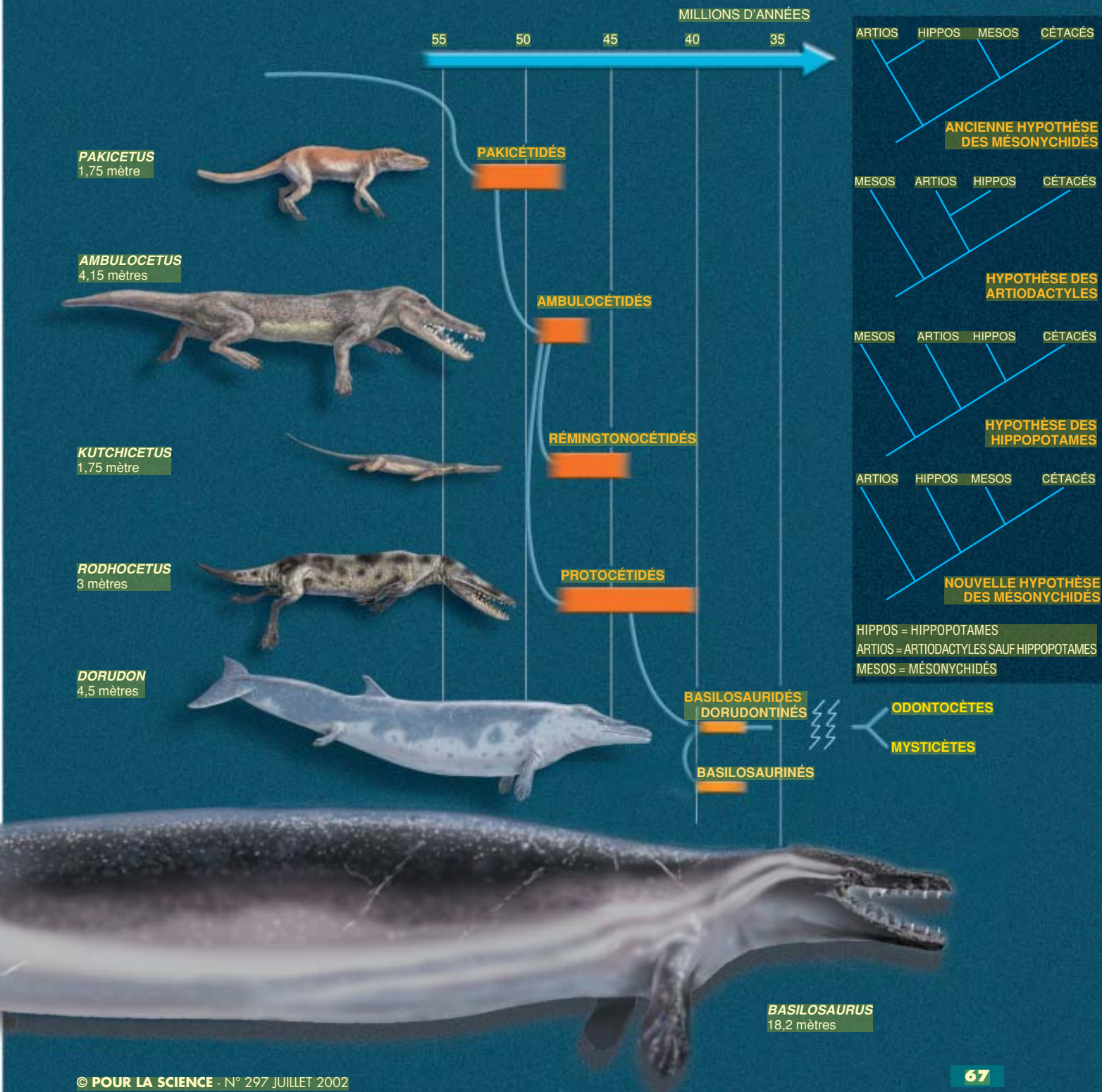


Portia Sloan et Edward Bell

L'ordre des cétacés

L'arbre phylogénétique des cétacés aboutit aux deux sous-ordres modernes des baleines, les odontocètes et les mysticètes, à partir des archaeocètes éteints. On a représenté des membres de chaque famille ou sous-famille des archaeocètes (*à gauche*). Les quatre diagrammes (*à droite*) symbolisent les quatre hypothèses qui relient les cétacés aux autres mammifères. L'hypothèse la plus ancienne, selon laquelle les cétacés descendent des mésonychidés – un groupe d'animaux qui ressemblent au loup – paraît aujourd'hui improbable, à la lueur des derniers fossiles découverts (c'est l'ancienne hypothèse des mésonychidés). Les os de la cheville des baleines fossiles ressemblent

aux os de la cheville des artiodactyles : on en déduit que les baleines sont elles-mêmes des artiodactyles (hypothèse des artiodactyles). Des études moléculaires ont montré que les baleines sont plus proches des hippopotames que d'aucun autre artiodactyle. L'étude de nouveaux fossiles sera nécessaire pour valider l'hypothèse de l'hippopotame ancêtre de la baleine. Selon la quatrième hypothèse, les mésonychidés restent les parents les plus proches des cétacés, à condition qu'ils appartiennent aux artiodactyles et non aux condylarthes, ce que l'on n'admet pas encore aujourd'hui. Cela signifierait qu'ils ont perdu les os caractéristiques de la cheville des artiodactyles.





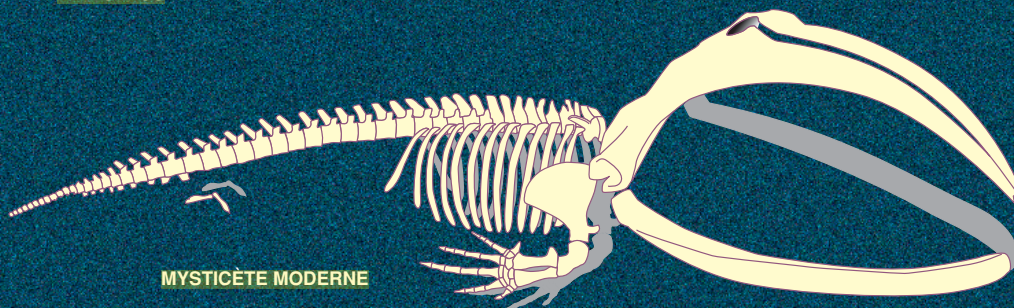
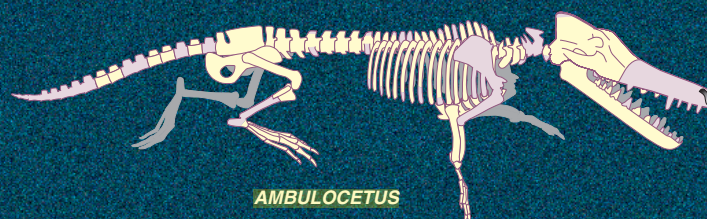
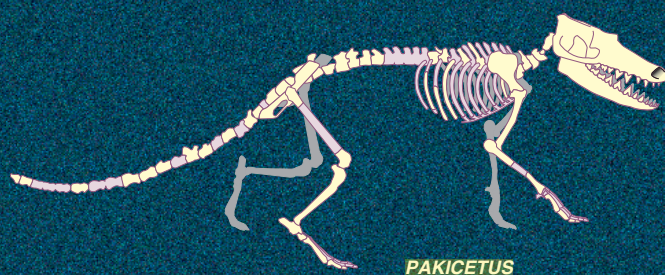
- PAKICÉTIDÉS ● AMBULOCÉTIDÉS ● PROTOCÉTIDÉS
- RÉMINGONOCÉTIDÉS ● BASILOSAURIDÉS ● LLANOCETUS

2. LA TETHYS était une vaste mer qui, durant une grande partie de l'Éocène (entre – 55 et –34 millions d'années), s'étendait de l'Espagne à l'Indonésie (a). L'Inde était alors une île, l'Australie ne s'était pas complètement séparée de l'Antarctique, et d'importantes régions de l'Afrique et de l'Eurasie étaient submergées. Ces eaux peu profondes, chaudes et riches en nutriments, regorgeaient de poissons. C'est pourquoi l'on trouve les fossiles d'animaux marins sur ce qui correspond aujourd'hui à des terres émergées (b). *Llanocetus* (34 millions d'années), une protobaleine de l'Antarctique, représente le maillon le plus ancien entre les ancêtres des cétacés et les cétacés modernes.

de l'oreille). L'anatomie des conduits auditifs du crâne fossile montrait que, contrairement aux baleines actuelles, l'animal ne devait pas localiser d'où venaient les sons, mais c'était à l'évidence des conduits auditifs de cétacés. L'équipe venait de découvrir la plus ancienne et la plus primitive des baleines connues, un animal qui passait sans doute une partie (si ce n'est la majeure partie) de son temps sur terre. Ph. Gingerich nomma la créature *Pakicetus* puisqu'elle avait été mise au jour au Pakistan, et se consacra désormais entièrement à la recherche d'autres ancêtres des baleines.

À la même époque, une autre équipe de paléontologues découvrit des restes de *Pakicetus* – un fragment de mâchoire inférieure et des dents isolées – qui ressemblaient beaucoup à ceux des mésonychidés. Or, il y a 50 millions d'années, à l'époque de *Pakicetus*, des mésonychidés peuplaient la région. On en conclut que les cétacés actuels descendent d'un mésonychidé ou d'un de ses proches parents. Toutefois, on ignorait encore à quoi ressemblaient ces toutes premières baleines.

Puis, en 1983, l'Union soviétique envahit l'Afghanistan, et les fouilles furent interrompues. Ph. Gingerich décida d'établir son champ de fouilles en Égypte, au Sud-Ouest du Caire dans la vallée du désert du Zeuglodon, ainsi nommée parce qu'on y a mis au jour au début du XX^e siècle les restes d'une baleine archaïque, le Zeuglodon. Comme le Pakistan, la majeure partie de l'Égypte était alors recouverte par la Téthys et les ossements des créatures primitives sont enfouis dans les sables du désert. Après plusieurs campagnes de fouilles, l'acharnement de Ph. Gingerich et de son équipe paya : ils découvrirent les membres postérieurs d'un ancêtre des baleines long de 18 mètres, le *Basilosaurus*, qui sillonnait les mers il y a entre 40 et 37 millions d'années. Auparavant, on avait retrouvé un morceau de fémur, sans pouvoir affirmer qu'il avait été fonctionnel. En revanche, les pieds et les pattes qui venaient d'être découverts étaient à l'évidence fonctionnels. Bien



3. LES PRINCIPAUX ARCHAEOCÈTES dont la lignée a abouti aux odontocètes (les baleines à dents) et aux mysticètes (les baleines à fanons) modernes révèlent quelques-unes des modifications morpholo-

giques qui ont assuré l'adaptation de ces animaux à la vie marine, en 15 millions d'années seulement (les os reconstruits sont colorés en jaune). Les membres postérieurs se sont raccourcis, les membres anté-

qu'elles aient mesuré environ 50 centimètres de longueur, ces pattes ne servaient probablement pas à l'animal à nager, et encore moins à marcher sur la terre ferme. En revanche, elles pouvaient l'aider à s'accoupler dans l'eau. Quel que soit leur usage, si tant est qu'elles en aient eu un, leur présence sur ce fossile indique que des ancêtres des baleines avaient gagné les mers durant les dix millions d'années qui séparaient le *Pakicetus* du *Basilosaurus*. L'hypothèse de la baleine marcheuse devenait plausible.

Une autre découverte confirma l'hypothèse, en 1992. Une équipe menée par Hans Thewissen, de l'Université de médecine du Nord-Est de l'Ohio, découvrit au Pakistan dans des roches marines vieilles de 48 millions d'années un squelette quasiment complet d'un maillon séparant la baleine moderne de ses ancêtres terriens. Les larges pieds et la puissante queue de la créature indiquaient une grande habilité pour la nage, tandis que les os robustes de ses pattes et des articulations suggéraient que l'animal pouvait marcher. H. Thewissen dénomma la bête *Ambulocetus natans* : la baleine marcheuse et nageuse.

Adaptations évolutives

Depuis, H. Thewissen, Ph. Gingerich et d'autres paléontologues ont mis au jour de nombreux fossiles qui retracent les étapes de la conquête des mers par les baleines : le *Pakicetus* a engendré *Ambulocetus*, qui lui-même a donné les animaux à nez de marsouin, les rémingtonocétidés, et les protocétidés, qui ont été les premières baleines bien adaptées à la nage et colonisant l'ensemble des océans à partir de l'ancienne région indo-pakistanaise. Ensuite, sont apparus les dorudontines, qui avaient un aspect de dauphin et sont probablement les ancêtres des basilosaurines et des baleines modernes.

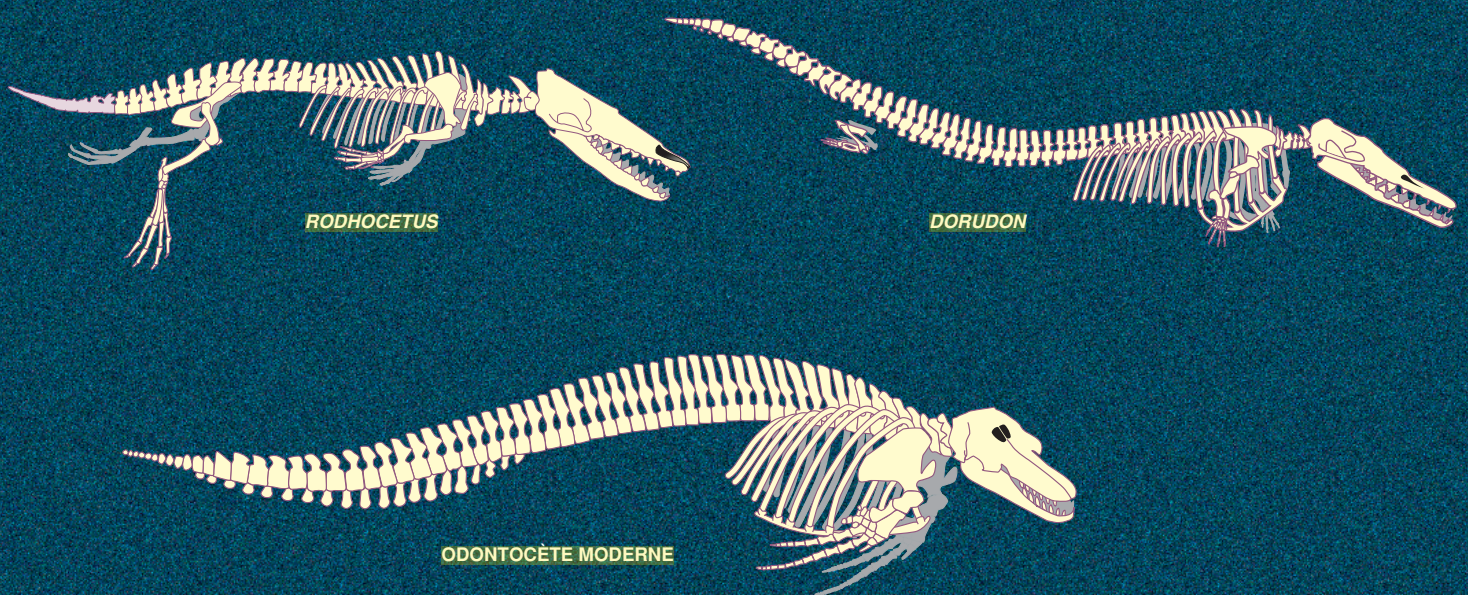
Grâce à ces fossiles, les paléontologues ont établi la généalogie des baleines, mais ils ont aussi identifié de nom-

breux changements anatomiques et physiologiques qui ont accompagné leur adaptation au milieu marin. L'une des premières modifications concerne l'ouïe. Tandis que les humains et les autres animaux terrestres ont des tympan plats et sensibles qui vibrent quand les ondes sonores les atteignent, les baleines modernes n'ont que des ligaments tympaniques, longs et épais, insensibles aux sons. À la place, un os dense, la bulla, transmet les sons de l'eau vers une région plus profonde de l'oreille.

La bulla de *Pakicetus* subit quelques modifications en ce sens, mais cet animal reste avant tout un mammifère terrestre dont le tympan était adapté à l'audition dans l'air. Alors, à quoi lui servaient ses épaisses bulla ? Selon H. Thewissen, à capter les vibrations transmises par le sol (comme les tortues qui «écoutent» par leur carapace). Ce prédateur aurait chassé en embuscade, attendant caché près d'une rivière, la tête au contact du sol, à l'affût de proies venant s'abreuver. Aujourd'hui le crocodile pratique ce mode de chasse en posant sa mâchoire sur le sol. *Ambulocetus* chassait aussi sans doute de cette façon, car il présente un début de jonction entre la mâchoire et l'oreille. Ce trait anatomique, qui a doté les premières baleines de la capacité d'entendre les vibrations du sol, leur aurait permis ultérieurement de percevoir les sons sous l'eau.

Zhe-Xi Luo, du Muséum d'histoire naturelle de Pittsburgh, a montré que du temps des premières baleines aquatiques, les basilosaurinés et des dorudontinés, les tympan avaient déjà évolué en ligaments tympaniques allongés ; les canaux auditifs s'étaient obturés pour permettre la plongée en eau profonde, et un canal rempli de graisse transmettant les sons jusqu'à l'oreille interne s'était développé à partir de la mâchoire.

La différenciation entre les baleines à dents, les odontocètes, et les baleines à fanons, les mysticètes, s'est faite après l'évolution du système auditif. Tandis que les baleines à dents développaient les traits nécessaires à la production



rieurs se sont transformés en nageoires, et la colonne vertébrale a évolué jusqu'à ce que les battements puissants de la queue autorisent la nage. Simultanément, le crâne a évolué permettant aux animaux d'en-

tendre sous l'eau, l'orifice nasal s'est déplacé vers le haut du crâne, et les dents se sont simplifiées en pinces. Puis, les dents des mysticètes ont été remplacées par les fanons des baleines.