

les points de la colonne vertébrale participent aux battements et l'aile allège la queue.

On ignore précisément à quelle période les baleines ont perdu leurs pattes. Lawrence Barnes, du Muséum d'histoire naturelle de Los Angeles, a récemment mis au jour dans l'état de Washington le squelette d'une baleine datant de 27 millions d'années qui avait des membres postérieurs développés : les membres ont persisté plus longtemps qu'on ne le pensait. Toujours est-il qu'aujourd'hui, 50 millions d'années après leurs ancêtres quadripèdes, les cétacés n'ont plus que de minuscules vestiges de membres postérieurs, invisibles de l'extérieur, et que leur bassin est notablement réduit au point qu'il n'est relié qu'à quelques petits muscles qui ne servent plus à la locomotion.

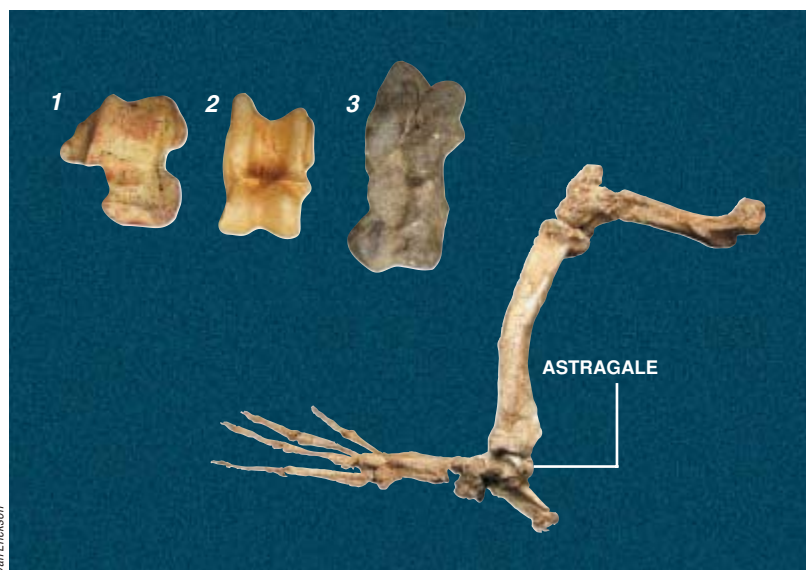
La parole à l'ADN

Dans les années 1980 et 1990, tandis que les paléontologues étudiaient la morphologie des fossiles et en déduisaient que les baleines descendent des mésonychidés, les biologistes retraçaient l'histoire évolutive des cétacés en analysant l'ADN des baleines modernes. Ces études moléculaires confirmèrent les conclusions de Boyden faite dans les années 1960 : les baleines sont plus proches des artiodactyles que de tout autre mammifère vivant, et, qui plus est, elles seraient des artiodactyles, l'un des nombreux rameaux sur cette branche de l'arbre des mammifères. De surcroît, ces études ont révélé l'existence d'un lien étroit entre les baleines et les hippopotames. Les diverses études de l'ADN, notamment celle de Norihiro Okada et de ses collègues de l'Institut de technologie de Tokyo, étaient convaincantes, mais comment pouvait-on concilier l'hypothèse de l'hippopotame, ancêtre des baleines et les conclusions des paléontologues ?

Les paléontologues décidèrent que la seule façon de le savoir était d'étudier les os de la cheville des anciennes baleines. On définit les artiodactyles sur la base d'un de ces os, l'astragale, qui favorise la mobilité. L'unique astragale des artiodactyles présente des gorges qui le font ressembler à une poulie à gorge double (voir la figure 5). L'une est reliée au tibia et l'autre à des os plus éloignés de la cheville. Si les baleines descendent des artiodactyles, leurs ancêtres encore mal adaptés à la vie aquatique devaient avoir un astragale en forme de poulie.

La dernière pièce du puzzle fut trouvée en automne 2001 par Ph. Gingerich et par H. Thewissen qui annoncèrent simultanément avoir découvert de nouveaux fossiles de baleines primitives. Dans l'Est de la province du Béloutchistan, l'équipe de Ph. Gingerich a mis au jour des squelettes articulés partiels de *Rodhocetus balochistanensis* et un nouveau genre de protocétidé, *Artiocetus*. Dans les collines Kala Chitta du Pakistan, H. Thewissen et ses collègues ont trouvé un fragment de *Pakicetus* et un autre d'un membre plus petit de la famille des pakicétidés, *Ichthyolestes*. Chacun de ces squelettes présente un astragale caractéristique des artiodactyles.

Ces découvertes ont renforcé les convictions des partisans de l'hypothèse selon laquelle les baleines descendent des artiodactyles. Bien que les hippopotames eux-mêmes soient apparus bien après les baleines, leur ancêtre présumé (l'antracothère, un animal dont la taille variait entre celle d'un chien ou celle d'un cheval et qui était inféodé aux marais) vivait au milieu de l'Éocène (peut-être même avant) et aurait un ancêtre commun avec les cétacés.



5. LES MEMBRES POSTÉRIEURS d'une baleine primitive, *Rodhocetus*, sont pourvus d'un os de la cheville nommé astragale. On a regroupé un astragale de mésonychidé (1), un astragale d'artiodactyle moderne (2) et l'astragale de *Rodhocetus* (3). Ils présentent la même forme de poulie à deux gorges qui caractérise tous les astragales d'artiodactyles. On en déduit que les baleines descendent non pas des mésonychidés, comme cela était admis, mais d'un ancien artiodactyle.

Si les artiodactyles semblent bien être les ancêtres des cétacés, pourquoi s'est-on si longtemps tourné vers les mésonychidés ? Les spécialistes de l'évolution pensent aujourd'hui que les ressemblances avec les mésonychidés reflètent une évolution convergente plutôt qu'un ancêtre commun, et que l'ordre des mésonychidés a représenté un cul-de-sac évolutif. Toutefois, cette opinion ne fait pas l'unanimité. Selon Maureen O'Leary, de l'Université de Stony Brook, les données morphologiques et moléculaires n'excluent pas que les mésonychidés appartiennent à la lignée des baleines. Les mésonychidés seraient d'anciens artiodactyles dont l'évolution de la cheville se serait inversée, et resteraient les plus proches parents des cétacés ; aujourd'hui, les hippopotames seraient leurs plus proches parents vivants. Certaines critiques se sont toutefois élevées contre l'inclusion des mésonychidés dans les artiodactyles : la validation de l'hypothèse des mésonychidés nécessiterait de renoncer à l'idée bien ancrée que l'astragale définit le groupe des artiodactyles.

Paléontologues et biologistes s'accordent à dire que seuls de nouveaux fossiles préciseront le lien entre les baleines et les artiodactyles, notamment des fossiles d'artiodactyles primitifs et surtout d'hippopotames primitifs. La prochaine étape sera de préciser comment les archaocètes ont évolué vers les mysticètes et vers les odontocètes, et quand ces derniers ont acquis leurs caractères « modernes ». Si les recherches avancent au même rythme que les 20 dernières années, la famille des cétacés sera bientôt au grand complet.

Kate WONG est écrivain et journaliste à *Scientific American*.

M. BENTON, *L'épopée des mammifères*, Édimages, 1991.

The Emergence of Whales : Evolutionary Patterns in the Origin of Cetacea, sous la direction J. Thewissen, Plenum Press, 1998.

J.-L. HARTENBERGER, *Une brève histoire des mammifères*, Belin-Pour la Science, 2001.

Les constantes varient-elles?

JEAN-PHILIPPE UZAN

Deux constantes fondamentales de la physique semblent avoir varié au cours de l'histoire de l'Univers. Ces observations relancent un débat ancien sur la nature des lois physiques.

La plupart des physiciens croient que tous les électrons de l'Univers, sans exception, ont exactement la même masse, la même charge et le même spin. Ainsi formulée, cette affirmation pourrait passer pour une profession de foi. En réalité, elle est implicite dans la pratique scientifique elle-même, amplement justifiée par ses indéniables succès. Lorsque les physiciens reproduisent ou comparent des expériences pour tester les lois de la nature, ils doivent supposer que ces lois sont identiques en tout lieu et à toutes les époques. Cette hypothèse est souvent qualifiée de principe copernicien, car elle nous rappelle qu'on ne saurait justifier *a posteriori* le résultat d'une expérience en prétendant que nous occupons une place privilégiée dans l'Univers. Cette vision s'oppose à celle d'Aristote où les lois terrestres, bien qu'immuables et identiques en tout point de la Terre, diffèrent des lois célestes. Le principe copernicien est aujourd'hui au centre de nombreux débats théoriques. Les succès de la physique et de l'astrophysique modernes montrent qu'il est difficile d'envisager des lois physiques dont la structure prendrait des formes très différentes en divers points de l'Univers. En revanche, une lente variation des constantes fondamentales qui interviennent dans ces lois est envisageable sans remettre en cause l'essentiel des résultats déjà acquis. Si nous ignorons cette possibilité, nous risquons d'adopter sans le savoir une vision faussée de notre Univers. Au contraire, si nous en tenons compte, nous ouvrirons peut-être des fenêtres sur des théories physiques qui ne peuvent pas, pour le moment, être testées expérimentalement par d'autres moyens. Ainsi, cette question a fait l'objet de nombreuses études théoriques et expérimentales qui ont un point commun : elles constituent un test fondamental pour nos théories de la gravitation. Très récemment, une équipe d'astronomes a

annoncé que la constante de structure fine, une constante fondamentale, a varié au cours de la première moitié de l'histoire de l'Univers. Une autre équipe a publié des résultats indiquant une possible évolution du rapport des masses du proton et de l'électron. Avant de nous intéresser aux aspects les plus actuels de la quête d'une variation des constantes, commençons par rappeler les termes de ce débat déjà ancien.

L'ouverture de la boîte de Pandore

En 1937, le physicien et mathématicien Paul Dirac a, le premier, envisagé la possibilité que les constantes fondamentales varient, lorsqu'il proposa son hypothèse dite des grands nombres. Pour des raisons esthétiques, Dirac pensait que les lois de la nature ne devraient pas faire apparaître de constantes numériques très grandes ou très petites. Bien sûr, la valeur numérique que nous attribuons à certaines constantes, la vitesse de la lumière (299 792 458), par exemple, est due aux accidents historiques qui ont déterminé la définition de nos unités de mesure (ici la seconde et le mètre). Par conséquent, la question de Dirac n'a de sens que si l'on s'affranchit de l'arbitraire lié au choix des étalons de mesure : elle ne se pose que pour les grandeurs sans dimension, tel le rapport de la masse du proton à celle de l'électron (qui vaut environ 1836 dans tous les systèmes d'unité). Selon Dirac, certaines de ces constantes, tel le rapport de la force électrique à la force gravitationnelle entre le proton et l'électron (de l'ordre de 10^{40}), affichent des valeurs déraisonnablement élevées. En fait, cette remarque traduisait une interrogation sur le fondement de nos lois physiques. Ces lois font intervenir des constantes dont la valeur ne nous est pas donnée par la théorie, mais que