

POUR LA SCIENCE

Édition française de Scientific American

**COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION
DÈS MAINTENANT !**



N° 506 (déc. 19)
réf. PL506



N° 505 (nov. 19)
réf. PL505



N° 504 (oct. 19)
réf. PL504



N° 503 (sept. 19)
réf. PL503



N° 502 (août 19)
réf. PL502



N° 501 (juillet 19)
réf. PL501



N° 500 (juin 19)
réf. PL500



N° 499 (mai. 19)
réf. PL499



N° 498 (avr. 19)
réf. PL498



N° 497 (mar. 19)
réf. PL497



N° 496 (févr. 19)
réf. PL496



N° 495 (jan. 19)
réf. PL495



À retourner accompagné de votre règlement à :

Pour la Science – Service VPC – 19 rue de l'Industrie – BP 90053 – 67402 Illkirch Cedex – email : pourlascience@abopress.fr



OUI, je commande des numéros de Pour la Science,
au tarif unitaire de 9,90 €.

1 / JE REPORTE CI-DESSOUS LES RÉFÉRENCES à 5 chiffres
correspondant aux numéros commandés :

1^{re} réf. _____ 01 x 9,90 € = 9,90 €
2^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €
3^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €
4^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €
5^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €
6^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €

TOTAL À RÉGLER _____ €

Groupe Pour la Science – Siège social : 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris
Cedex 14 – Sarl au capital de 32000 € – RCS Paris B 311 797 393 – Siret : 311 797 393 000 23 – APE 5814 Z

Offre valable jusqu'au 31/07/2020 en France Métropolitaine uniquement. Pour l'export, rendez-vous sur notre site internet boutique.pourlascience.fr. Les prix affichés incluent les frais de port et les frais logistiques.
Les informations que nous collectons dans ce bulletin d'abonnement nous aident à personnaliser et à améliorer les services que nous vous proposons. Nous les utiliserons pour gérer votre accès à l'intégralité de nos services, traiter vos commandes et paiements, et vous faire part notamment par newsletters de nos offres commerciales moyennant le respect de vos choix en la matière. Le responsable du traitement est la société Pour la Science. Vos données personnelles ne seront pas conservées au-delà de la durée nécessaire à la finalité de leur traitement. Pour la Science ne commercialise ni ne loue vos données à caractère personnel à des tiers. Les données collectées sont exclusivement destinées à Pour la Science. Nous vous invitons à prendre connaissance de notre charte de protection des données personnelles à l'adresse suivante : <https://rebrand.ly/charte-donnees-pls>. Conformément à la réglementation applicable (et notamment au Règlement 2016/679/UE dit « RGPD ») vous disposez des droits d'accès, de rectification, d'opposition, d'effacement, à la portabilité et à la limitation de vos données personnelles. Pour exercer ces droits (ou nous poser toute question concernant le traitement de vos données personnelles), vous pouvez nous contacter par courriel à l'adresse protection-donnees@pourlascience.fr.

2 / J'INDIQUE MES COORDONNÉES

☐ M. ☐ Mme

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Téléphone _____

J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON

3 / JE CHOISIS MON MODE DE RÈGLEMENT

☐ Par chèque à l'ordre de Pour la Science

☐ Carte bancaire

N° _____

Date d'expiration _____

Clé (les 3 chiffres au dos de votre CB) _____

Signature obligatoire :



RETROUVEZ TOUS LES ANCIENS NUMÉROS SUR
BOUTIQUE.POURLASCIENCE.FR

L'AUTEUR



HERVÉ LE GUYADER
professeur émérite de biologie
évolutive à Sorbonne Université,
à Paris

LES GÈNES PERDUS DES BALEINES

Comment les cétacés se sont-ils adaptés à une vie exclusivement marine? En perdant certaines fonctions avantageuses pour les mammifères terrestres, grâce à une extinction très ciblée de certains gènes.

En 1943, André Lwoff, microbiologiste à l'institut Pasteur et futur Prix Nobel, publia un ouvrage qui lui attira de nombreuses critiques parmi les évolutionnistes français. Sous le titre *L'Évolution physiologique: étude des pertes de fonctions chez les microorganismes*, il y démontrait que, chez les microorganismes, l'évolution s'accompagne souvent d'une perte de capacités. Comment en était-il arrivé là? Pour étudier les organismes unicellulaires – les «protistes» –, il faut les cultiver. Or, si certaines espèces se multipliaient sans difficulté dans le milieu de culture, d'autres ne prospéraient que si l'on ajoutait à ce milieu diverses molécules, nommées «facteurs de croissance». En s'intéressant à ces facteurs, Lwoff avait montré tout d'abord que beaucoup étaient des vitamines. Puis il avait trouvé que l'un de ces

facteurs n'était autre qu'une molécule produite par la plupart des cellules, le nicotinamide adénine dinucléotide (NAD), et intervenant dans le métabolisme cellulaire.

Lwoff avait alors compris que tous ces facteurs sont des molécules indispensables à n'importe quelle cellule, mais que seules certaines cellules les synthétisent. Les autres doivent les trouver dans leur milieu. Dans son livre, il postulait donc que ces dernières avaient perdu la capacité de synthétiser ces molécules. L'idée affronta une grande hostilité, car pour la majorité des biologistes, l'évolution ne devait être que progrès, c'est-à-dire ajout ou amélioration. Depuis, elle a été largement confirmée chez les protistes. Toutefois, son élargissement aux animaux et aux végétaux restait anecdotique... jusqu'à ce qu'une récente étude sur les cétacés la réanime.



La baleine à bosse est une espèce de cétacé à fanons.



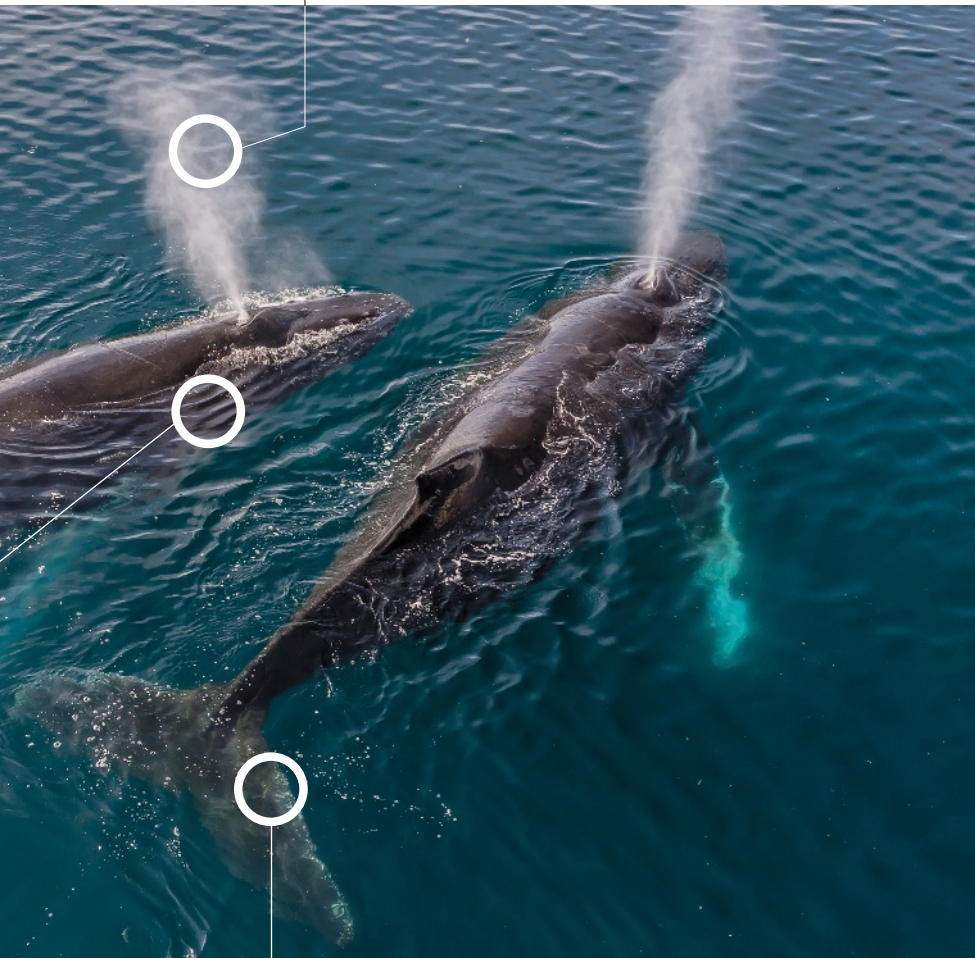
Hervé Le Guyader
a récemment publié:
L'Aventure de la biodiversité,
(Belin, 2018).

EN CHIFFRES

90 %

À leur remontée à la surface, les cétacés vident environ 90 % du volume de leurs poumons en un souffle – une « expiration explosive ».

Le jet d'air et d'eau qu'elle émet par ses événements lorsqu'elle expire atteint parfois 3 mètres de haut.



Sa nageoire caudale peut atteindre le tiers de la longueur de son corps.



Baleine à bosse
(*Megaptera novaeangliae*)
Longueur: 13-14 m (mâle)
et 15-16 m (femelle)
Poids: 25 à 30 t en moyenne

62

Dans leur étude sur les pertes de fonctions chez les cétacés, Michael Hiller et ses collègues ont analysé 62 génomes d'espèces de mammifères: 4 cétacés, 2 pinnipèdes, 1 lamantin et 55 espèces terrestres.

2

En plongée, la fréquence cardiaque de la baleine bleue peut descendre jusqu'à 2 battements par minute, selon une récente étude menée par Jeremy Goldbogen, à l'université de Stanford, et ses collègues. On estime que le cœur d'une baleine de 70 tonnes pèse 319 kilogrammes et éjecte environ 80 litres de sang par battement.

germano-américaine autour de Michael Hiller, de l'institut Max-Planck à Dresde. Les chercheurs ont comparé les génomes de 62 espèces de mammifères, dont 4 cétacés, afin de trouver, parmi les presque 20 000 gènes codants connus, ceux portant des mutations qui empêchaient leur traduction en protéines. Leur attention s'est portée sur les 110 gènes inactivés chez les deux grands groupes de cétacés, les mysticètes, ou baleines à fanons (représentés dans l'étude par la baleine de Minke), et les odontocètes, ou baleines à dents (représentés par le grand dauphin, l'orque et le grand cachalot). L'inactivation de ces gènes concernant l'ensemble des cétacés, l'hypothèse la plus probable est qu'elle ait eu lieu antérieurement à l'ancêtre hypothétique commun des cétacés.

À LA RECHERCHE DE GÈNES PERDUS

Pour cibler spécifiquement les gènes devenus inactifs au moment de la transition terre-eau, l'équipe a utilisé le génome de l'hippopotame commun, le plus proche parent des cétacés (voir l'encadré page 94), afin de ne garder que les gènes restés intacts chez ce dernier: sur les 110 gènes, seuls 85 répondaient à ce critère. En guise de validation, les chercheurs ont ensuite vérifié que ces 85 gènes étaient bien inactivés chez deux autres odontocètes (le béluga et le dauphin de Chine) et un mysticète (la baleine boréale). Les fonctions de ces 85 gènes étant connues chez l'homme et la souris, ➤

D'un point de vue anatomique, on sait depuis longtemps qu'en conquérant les mers, les cétacés (baleines, dauphins, cachalots...) ont perdu un caractère utile à leurs cousins terrestres: les pattes postérieures. Leur nageoire postérieure est en effet une néoformation musculieuse dépourvue de squelette. Les paléontologues ont d'ailleurs exhumé de nombreux fossiles qui ont permis de retracer la transition entre un quadrupède terrestre et un «bipède» aquatique, laquelle s'est produite au cours de l'Éocène, il y a environ 50 millions d'années. Toutefois, les fossiles n'ont évidemment rien révélé sur l'évolution physiologique de ces singuliers animaux.

C'est à l'étude de cette évolution que s'est récemment attelée une équipe

> cela leur a permis de comprendre les conséquences de leur perte chez les cétacés. En voici quelques exemples.

Les gènes *F12* et *KLKB1* codent deux facteurs qui, lors de la coagulation sanguine, favorisent la formation du caillot. Or, au cours de la plongée, les cétacés présentent une baisse de leur rythme cardiaque, une réduction du débit sanguin et une vasoconstriction périphérique. La fréquence de ces phénomènes augmente le risque de thrombose, c'est-à-dire de formation d'un caillot dans les vaisseaux sanguins. Chez la souris, inactiver ces deux gènes diminue le risque de thrombose. La perte de fonction de ces deux gènes chez les cétacés leur est donc bénéfique, d'autant plus qu'elle n'empêche pas la formation de caillot lors d'une blessure.

DES POUMONS PLUS ÉLASTIQUES

Autre exemple: lors d'une plongée profonde, les poumons des cétacés colapsent. Ainsi, le volume des poumons d'un grand cachalot de 15 mètres n'est que de 7,5 litres à 1000 mètres de profondeur, alors qu'il est de 750 litres en surface. De plus, ces animaux réalisent, à leur remontée, une « expiration explosive »: ils vident 90% du volume de leurs poumons en un souffle. Or Michael Hiller et ses collègues ont remarqué qu'un gène jouant un rôle spécifique dans le système respiratoire, le gène *MAP3K19*, est devenu inactif chez les cétacés.

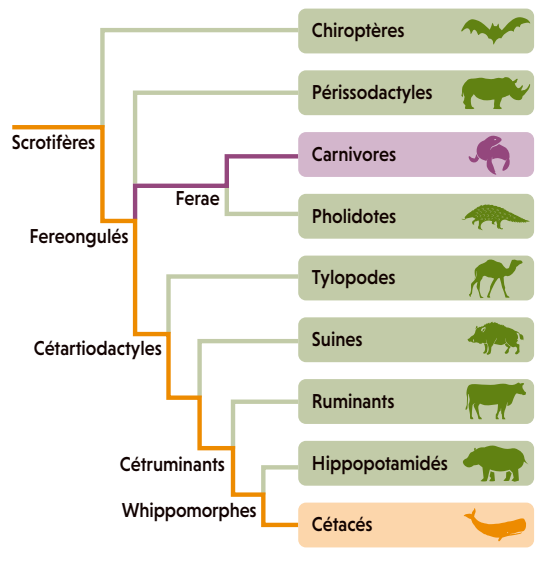
Chez l'humain, ce gène s'exprime dans diverses cellules des bronches et sa surexpression est impliquée dans le développement de la bronchopneumopathie chronique obstructive, une maladie due à la cigarette. Or l'inflammation induite entraîne la dégradation de l'élastine, une protéine qui confère son élasticité aux tissus pulmonaires. Le vidage des poumons est alors très incomplet, vu la perte d'élasticité des tissus. Chez les cétacés, en revanche, l'inactivation du gène *MAP3K19* préserve le réseau colla-gène-élastine et donc le souffle.

Ce gène est aussi surexprimé chez les patients atteints de fibrose pulmonaire, un excès de tissu conjonctif dans les poumons qui serait dû à une réparation anarchique. Or, si l'on inhibe le gène chez des souris, elles développent moins de fibroses. Son inactivation chez les cétacés les protégerait donc, eux dont les poumons sont particulièrement sujets aux microblessures du fait de l'amplitude de leurs mouvements respiratoires.

Le sommeil des cétacés est aussi le fruit de pertes de fonctions. Il est évident

LES CÉTACÉS, PLUS PROCHES COUSINS DES HIPPOPOTAMES

Les cétacés (baleines, dauphins, cachalots...) sont des mammifères qui appartiennent à l'ordre des cétartiodactyles, où ils côtoient les tylopodes (chameaux, dromadaires...), les suines (porcs, pécariis...), les ruminants (bovins, caprins, girafes, cerfs...) et les hippopotames, dont ils sont les plus proches. Les cétacés sont ainsi plus proches des chameaux que d'autres mammifères aquatiques, comme les lamantins (hors de l'arbre ci-contre), ou semi-aquatiques, comme les phoques.



que les cétacés ne peuvent dormir comme les mammifères terrestres, puisqu'ils doivent venir régulièrement respirer à la surface. On sait comment le problème a été résolu: un seul hémisphère cérébral dort, tandis que l'autre assure les fonctions essentielles de survie (voir *Pour la Science* n°506). Or les gènes *AANAT*, *ASMT*, *MTNR1A* et *MTNR1B*, indispensables pour la synthèse et l'action de la mélatonine, l'hormone du sommeil, ont carrément été perdus chez les cétacés. Ces pertes ont rendu possible ce mode de sommeil et ont entraîné un découplage entre le cycle jour-nuit et le cycle sommeil-veille qui, suivant des études sur les dauphins, est plutôt corrélé à celui de présence-absence des proies.

DES GÈNES PERDUS INDÉPENDAMMENT

D'autres fonctions sont touchées par le même processus évolutif: réparation de l'ADN, sécrétion de la salive... Impossible de tout décrire. Mais n'oublions pas un fait capital remarqué par Michael Hiller et son équipe: indépendamment, d'autres mammifères aquatiques (les lamantins) ou semi-aquatiques (les pinnipèdes, tels que les phoques) ont perdu certains de ces gènes (on parle de convergence). Assurément, on va maintenant rechercher un tel processus évolutif à chaque fois que le génome complet d'un animal assujéti à un environnement particulier sera séquencé. ■

BIBLIOGRAPHIE

M. Huelsmann et al., **Genes lost during the transition from land to water in cetaceans highlight genomic changes associated with aquatic adaptations**, *Science Advances*, vol. 5, article eaaw6671, 2019.

R. Albalat et C. Cañestro, **Evolution by gene loss**, *Nat. Rev. Genet.*, vol. 17, pp. 379-391, 2016.

M. R. McGowen et al., **Molecular evolution tracks macroevolutionary transitions in Cetacea**, *Trends Ecol. Evol.*, vol. 29(6), pp. 336-346, 2014.

DURÉE LIBRE

43 %
de réduction *

Groupe Pour la Science - Siège social: 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris cedex 14 – Sarl au capital de 32 000€ – RCS Paris B 311 797 393 – Siret : 311 797 393 000 23 – APE 5814 Z