

que l'eau accélère en pénétrant la cavité buccale, et finalement la vitesse de la baleine et la vitesse de l'eau s'équilibrent.

Les simulations de cet engouffrement actif concordent avec le profil de vitesse provenant des balises numériques (voir l'encadré page 45). Le mécanisme de nutrition par engouffrement diffère donc du gonflement passif des parachutes.

Bien que cela semble aller contre l'intuition, le fait de repousser l'eau vers l'avant au cours d'une capture présente certains avantages. D'abord, la force de traînée subie par la baleine est répartie dans le temps, ce qui la rend plus faible à chaque instant. L'engouffrement actif pourrait aussi accroître le rendement énergétique et mécanique de la filtration par les fanons.

Un filtre autonettoyant ?

En effet, la masse engloutie, à l'intérieur de la cavité buccale, longe la surface filtrante des fanons, et l'on peut penser que la baleine utilise un type de filtration dit tangentiel des particules contenues dans l'eau. Ce type de filtration est par exemple mis en œuvre par des procédés de purification de l'eau, de fabrication de la bière et du vin, de clarification de jus de fruits et de biotechnologies. Il a aussi été observé chez les poissons filtreurs. Par opposition à la filtration frontale, où le flux d'eau est perpendiculaire à la surface filtrante, ce

qui tend à encrasser rapidement le filtre de particules de grande taille, la filtration tangentielle éviterait que le krill ne se coince entre les fanons. Si cela advenait, on voit mal comment la baleine le détacherait de sa langue molle et peu musculeuse. Un jour, la technologie nous permettra peut-être de visualiser le mode de filtration d'un rorqual ou d'une baleine à bosse, ce qui mettrait fin à ces supputations.

La traînée élevée de l'engouffrement actif retentit sur la recherche de nourriture et la morphologie du cétacé. Non seulement la baleine doit dépenser beaucoup d'énergie pour accélérer la masse d'eau qu'elle engloutit, mais la traînée élevée lui fait perdre son énergie cinétique, stoppant presque sa progression. En conséquence, l'animal doit réaccélérer afin d'assurer la phase de capture suivante tout en continuant son apnée. Les engouffreuses épuisent ainsi rapidement leurs réserves d'oxygène et doivent revenir à la surface pour récupérer au bout d'une quinzaine de minutes. Ce laps de temps assez court est inattendu, car ces baleines sont très grandes, et chez presque tous les autres vertébrés respirant à l'air, le temps de plongée augmente habituellement avec la taille, en raison d'un métabolisme plus efficace.

Donald Croll et ses collègues, de l'Université de Californie à Santa Cruz, ont mesuré pour la première fois le temps de plongée d'engouffreuses, en l'occurrence de rorquals, au début des années 2000.

Ils ont fixé de simples enregistreurs de temps et de profondeur sur le dos de baleines bleues et de rorquals communs faisant surface. Les plongées qui impliquaient plus de phases de capture étaient suivies d'un temps plus long de récupération en surface. Ces chercheurs ont donc supposé que chaque phase de capture a un coût énergétique élevé. Cette hypothèse a été étayée depuis lors, non seulement pour les rorquals communs et les rorquals bleus, mais aussi pour les baleines à bosse.

Comme le temps de plongée est limité par son coût énergétique, ces baleines dépendent de la présence de concentrations denses de proies. De plus, on pense que leur morphologie est telle qu'elles peuvent engloutir autant d'eau que possible par plongée ; c'est sans doute pourquoi leur cavité buccale s'étend sur la moitié du corps, jusqu'au nombril, les mâchoires représentant presque le quart de la longueur du corps. Mais alors, l'appareil d'engouffrement ne pourrait-il être encore plus grand ? Quelles sont les limites à sa capacité ? Celle-ci change-t-elle avec la taille du corps ?

Ces questions m'ont conduit à consulter un ensemble de données morphométriques oubliées, provenant de la littérature consacrée à la chasse à la baleine. J'ai ainsi étudié les effets de la taille et de la morphologie sur les performances de la nutrition par engouffrement.

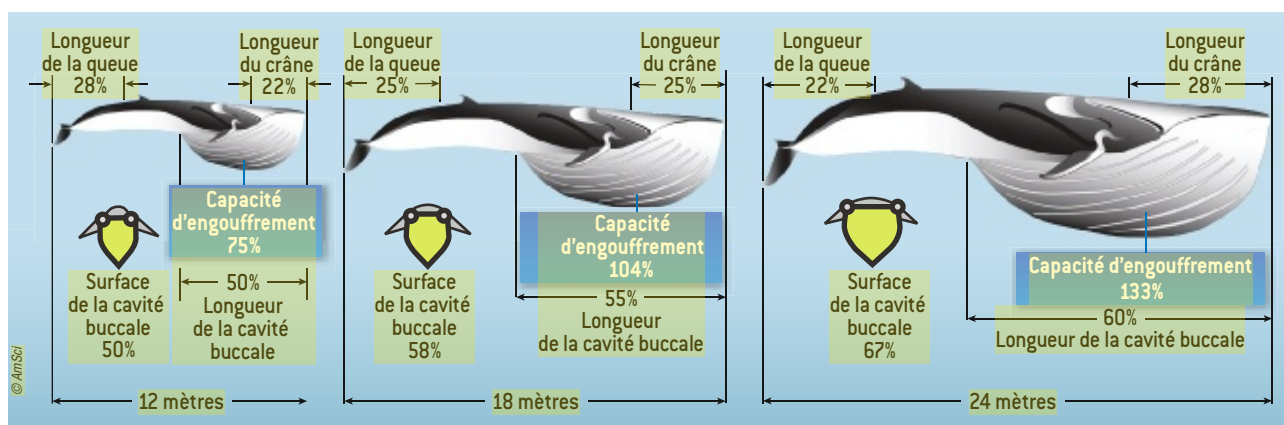
Que peut engouffrer une baleine ?

Dans les années 1920, le gouvernement britannique, cherchant à gérer l'industrie de la chasse à la baleine, a lancé une série d'expéditions, les *Discovery Investigations*, afin d'en apprendre plus sur l'histoire naturelle et la biologie des grandes baleines de l'océan Austral. Une étude particulière était consacrée aux proportions des deux plus grandes espèces de baleines, le rorqual commun et le rorqual bleu.

Ces espèces, parmi les plus grands animaux de tous les temps, présentent cependant une large gamme de tailles. Par exemple, la longueur au sevrage des rorquals communs et des baleines bleues est d'environ 12 et 16 mètres, respectivement, tandis que leur taille maximale est de 24 et 28 mètres. Lors des expéditions britanniques, des données morphométriques, dont certaines relatives à l'appareil d'engouffrement, ont été enregistrées sur des centaines de



7. LES SPÉCIMENS DE BALEINES du Muséum national d'histoire naturelle de l'Institution Smithsonian, aux États-Unis, comprennent, sur ce photomontage, les mandibules d'un rorqual bleu (de couleur grise) et d'un cachalot (de couleur jaune).



8. QUAND UN RORQUAL COMMUN GRANDIT, sa cavité buccale ne s'accroît pas de façon linéaire, mais son rapport à la taille du corps augmente. La longueur de la cavité buccale par rapport à celle du corps passe de 50 à 60 pour cent, celle du crâne de 22 à 28 pour cent, tan-

dis que la part de la queue diminue de 28 à 22 pour cent. La surface de la cavité buccale augmente de 50 à 67 pour cent de la surface totale projetée du corps, et la capacité d'engouffrement augmente de 75 à 133 pour cent de la masse du corps.

rorquals communs et de rorquals bleus représentant ces gammes de taille.

Résultat : les baleines les plus grandes ont des mâchoires et des cavités buccales surdimensionnées par rapport à leur taille, tandis que la région située entre l'aileron dorsal et la nageoire caudale devient relativement plus petite. Les auteurs de l'étude n'expliquaient pas cette morphologie, probablement parce que leurs données ont été recueillies avant que nous connaissions son importance sur les performances alimentaires.

Avec l'aide de mes collègues, j'ai repris les données britanniques concernant le rorqual commun, afin d'estimer sa capacité d'engouffrement en fonction de la taille. Comme nous l'avions prévu, la masse relative d'eau engloutie augmente avec la taille du rorqual, puisque l'appareil d'engouffrement devient plus grand.

Une question d'échelle

Question connexe : pourquoi la queue des baleines de grande taille est-elle relativement plus petite ? Peut-être parce que toutes les ressources liées à la croissance sont consacrées à la partie antérieure du corps, avons-nous suggéré. Lorsque les rorquals communs grandissent, leur capacité d'engouffrement augmente. Effectivement, le crâne devient relativement plus long et plus large par rapport au corps, et la surface d'ouverture de la cavité buccale est aussi plus grande en proportion chez les rorquals de grande taille (voir la figure 8). De plus, la longueur de la graisse ventrale à sillons augmente proportionnellement, ce qui accroît la capacité de la cavité

buccale. Étant donné que d'autres grandes baleines engouffreuses présentent aussi ce type de croissance relative, ces configurations morphologiques représentent vraisemblablement une adaptation liée à l'alimentation par engouffrement.

La taille de leur queue n'affecte pas la nage des grandes baleines, car la surface de propulsion qui engendre la poussée est généralement proportionnelle à la taille du corps. Cependant, l'accroissement de la capacité buccale a un coût. L'engouffrement étant actif, des masses d'eau plus importantes doivent être accélérées. Ainsi, les grandes baleines doivent dépenser plus d'énergie en proportion pour chaque phase de capture.

Si l'on considère que ces coûts énergétiques restreignent le temps de plongée, en comparaison d'autres animaux plongeurs, le temps de plongée des plus grandes baleines serait davantage limité que celui de leurs congénères plus petits. Une telle conséquence pourrait être préjudiciable, car les bancs de proies suffisamment denses tendent à se trouver en profondeur. En théorie, la dépense d'énergie pour se nourrir s'accroît plus rapidement avec la taille du corps que le gain d'énergie apporté par ce mode d'alimentation.

Extrapolons ce scénario à une « mégabaleine » hypothétique, une baleine beaucoup plus grande qu'un rorqual bleu. Un tel cétacé ne serait pas capable de soutenir son métabolisme en se nourrissant uniquement par engouffrement. Autrement dit, si l'évolution a sélectionné la taille de ces mammifères jusqu'à ses valeurs actuelles, il existe indiscutablement une limite supérieure que les baleines engouffreuses ne peuvent dépasser. ■

BIBLIOGRAPHIE

J.A. Goldbogen *et al.*, Mechanics, hydrodynamics and energetics of blue whale lunge feeding : efficiency dependence on krill density, *J. Exp. Biol.*, vol. 214, pp. 131-146, 2011.

J.A. Goldbogen *et al.*, Skull and buccal cavity allometry increase mass-specific engulfment capacity in fin whales, *Proc. Roy. Soc. B*, vol. 277, pp. 861-868, 2010.

J. Potvin *et al.*, Passive versus active engulfment : verdict from trajectory simulations of lunge-feeding fin whales *Balaenoptera physalus*, *J. Roy. Soc. Interface*, vol. 6, pp. 1005-1025, 2009.

J.A. Goldbogen *et al.*, Foraging behavior of humpback whales : Kinematic and respiratory patterns suggest a high cost for a lunge, *J. Exp. Biol.*, vol. 211, pp. 3712-3719, 2008.

J. Calambokidis *et al.*, Insights into the underwater diving, feeding and calling behavior of blue whales from a suction-cup attached video-imaging tag (CRITTERCAM), *Marine Technol. Soc. J.*, vol. 41, pp. 19-29, 2007.

L.S. Orton *et P.F. Brodie*, Engulfing mechanics of fin whales, *Can. J. Zool.*, vol. 65, pp. 2898-2907, 1987.

Astronomie

Étoiles : une naissance obscure

UNE RÉGION DE FORMATION STELLAIRE
intense près du noyau de la galaxie M83, observée par le télescope spatial *Hubble*. Les théories classiques ne rendent pas compte de façon satisfaisante de l'émergence des étoiles bleues massives, ni de la façon dont elles restituent de l'énergie aux nuages de gaz à partir desquels elles se forment.