

multipliée par cinq environ, et le travail effectué par l'animal triple.

Le coefficient de traînée mesure l'efficacité hydrodynamique d'un objet. De valeur élevée, il caractérise des formes peu hydrodynamiques. Ses valeurs basses indiquent au contraire que le corps de l'animal fend facilement l'eau. Nos calculs suggèrent que, pendant la durée d'une phase de capture, le coefficient de traînée fait plus que décupler, devenant très semblable à celui d'un parachute qui se gonfle. Cette analogie se comprend : un parachute a besoin d'une traînée pour se gonfler et ralentir sa chute, et la baleine a besoin d'une traînée pour gonfler sa cavité buccale.

Des baleines et des parachutes

Que l'alimentation par engouffrement implique la formation d'une forte traînée nous a conduits, avec R. Shadwick, à une collaboration des plus improbables avec Jean Potvin, un physicien parachutiste de l'Université Saint-Louis, dans le Missouri. Ensemble, nous avons développé un modèle détaillé de ce mode d'alimentation, inspiré de décennies d'études sur les parachutes.

Pour une morphologie et une vitesse initiale données, ce modèle prédit une décélération pour une baleine engloutissant passivement de l'eau et subissant une traînée. En comparant ses résultats aux données empiriques provenant des balises, nous avons testé des mécanismes particuliers d'engouffrement. La première question était la suivante : une baleine en train de se nourrir est-elle comparable à un parachute en train de se gonfler ? Si tel est le cas, la pression du flux d'eau nécessaire pour gonfler passivement la cavité buccale serait atteinte facilement en raison de l'extrême souplesse de la graisse ventrale à sillons.

Nos simulations ont toutefois montré que l'engouffrement passif n'est physiquement possible que pour des angles d'ouverture de la cavité buccale plus faibles et des volumes engloutis plus petits que ceux observés. Deux caractéristiques anatomiques clés ont suggéré un mécanisme d'engouffrement très différent. Plusieurs couches musculaires bien développées sont fermement attachées à la graisse ventrale à sillons des baleines. De plus, une étude réalisée par Merijn

de Bakker et ses collègues de l'Université de Leyde, aux Pays-Bas, a révélé que les muscles et les couches de graisse ventrale contiennent des nerfs sensibles à la tension mécanique. Les mécanorécepteurs sont concentrés dans chaque sillon, précisément la région du tissu qui s'étire au cours de l'engouffrement.

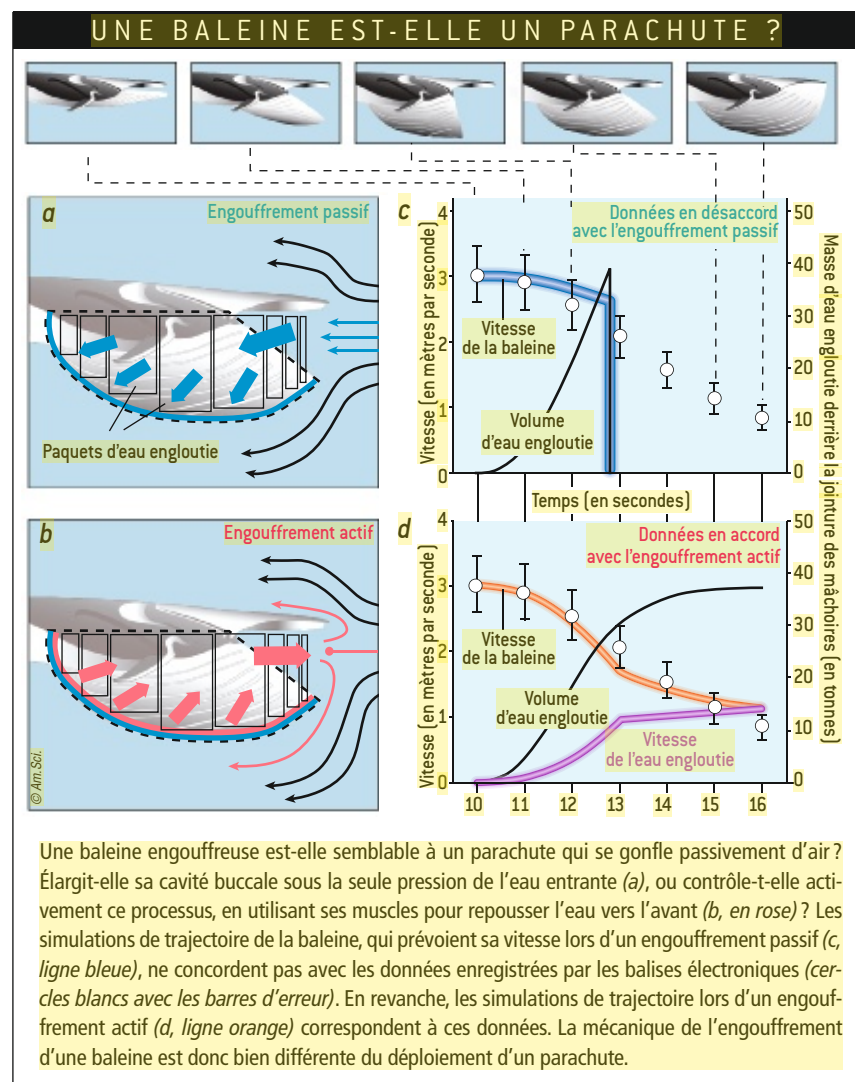
Ces deux indices suggèrent que le mégaptère et les rorquals peuvent « calibrer » la masse d'eau engloutie en fonction de l'étirement de la paroi buccale détecté par les mécanorécepteurs. Il leur est alors possible de produire une force musculaire suffisante pour repousser lentement le flux d'eau entrant. En vertu de la troisième loi du mouvement de Newton, selon laquelle tout corps exerçant une action sur un autre corps subit une réaction d'intensité égale et de sens opposé, la baleine communique sa vitesse de nage à l'eau engloutie ; l'animal ralentit tandis

L'AUTEUR



Jeremy GOLDBOGEN, céatologue, est chercheur à l'Institution Scripps d'océanographie de l'Université de Californie, à San Diego.

Article publié avec l'aimable autorisation de *American Scientist*.



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



Nick Pyenson

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).