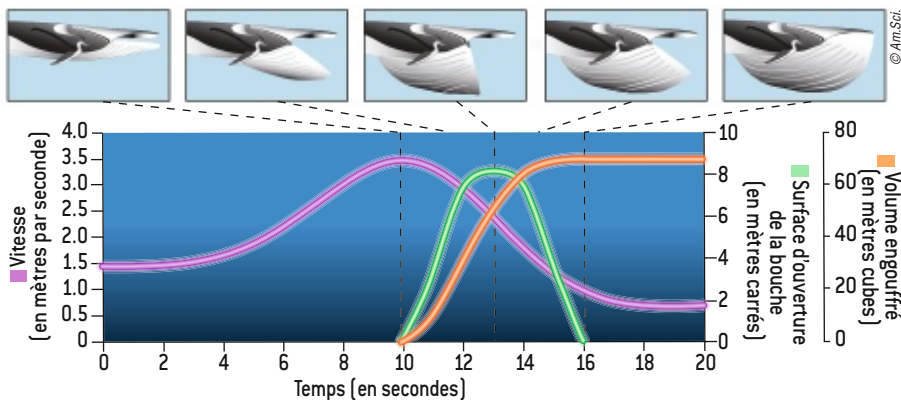




4. LES DONNÉES FOURNIES par des balises électroniques fixées sur des baleines émergeant pour respirer ont permis de détailler les étapes de l'alimentation par engouffrement. Après avoir plongé à une profondeur de plusieurs centaines de mètres, le cétacé accélère dans un banc de krill (ligne violette), ouvre sa bouche (ligne verte), provoquant une grande force de traînée et une décélération. La cavité buccale se remplit d'eau (ligne orange), puis la baleine referme sa bouche, commence à filtrer l'eau et à se préparer pour la capture suivante.

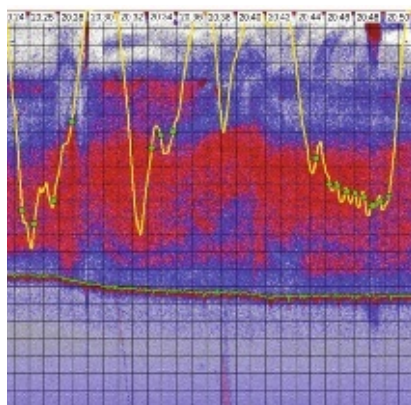
Ces opérations ont été dirigées par John Calambokidis et Greg Schorr, du *Cascadia Research Collective*, une organisation à but non lucratif d'Olympia, dans l'État de Washington, et Erin Oleson, de l'Institution d'océanographie Scripps, en Californie. Menées chaque été depuis 2002 au large des côtes californiennes et du Mexique, elles ont montré que les baleines plongent chaque jour à plusieurs reprises, dans certains cas jusqu'à 300 mètres de profondeur. Au plus profond de chaque plongée, se produit une série d'ondulations, accompagnées de mouvements de nage actifs et d'une diminution concomitante du bruit d'écoulement de l'eau, ce qui indique une réduction rapide de la vitesse.



5. FIXER UNE BALISE ÉLECTRONIQUE sur une baleine en surface n'est pas facile. Ici, une équipe de l'organisation non gouvernementale *Cascadia Research* place une balise sur un rorqual bleu grâce à une longue perche en fibre de verre. Le dispositif de flottaison rouge facilitera sa récupération quand les ventouses de la balise se détacheront du rorqual.

Une nage brusquement freinée

Ces données sont des indices d'engouffrements se produisant en profondeur. Elles ont été validées par un autre type de balise à ventouses : la *Crittercam* du *National Geographic*, conçue et développée par Greg Marshall. La caméra vidéo de cette balise est équipée d'un dispositif à infrarouge, qui filme dans l'obscurité au cours des plongées, et d'un enregistreur du temps et de la profondeur. La vidéo montre la baleine nageant en profondeur à travers des bancs denses de krill. La mandibule de la baleine s'abaisse, puis le bruit d'écoulement diminue, et la graisse ventrale à sillons s'étire. Tout cela fournit une confirmation visuelle du comportement que nous avons interprété à partir des données des balises numériques.



6. LES DONNÉES ÉLECTRONIQUES fournies par une balise fixée à une baleine à bosse montrent que celle-ci a plongé jusqu'à 140 mètres (lignes jaunes, chaque carré représentant 10 mètres) pour se nourrir de krill (en bleu : densité moyenne de proies ; en rouge : densité élevée). Cette baleine a réalisé une série d'accélération (points verts) avant de faire surface pour respirer, chaque plongée durant une dizaine de minutes.

Après des analyses plus poussées, nous avons remarqué que nous pouvions utiliser l'intensité du bruit d'écoulement enregistré par l'hydrophone pour calculer la vitesse de nage du rorqual à chaque fois qu'il se met en chasse. Ce « compteur de vitesse à bruit d'écoulement » a révélé à quel point les changements de vitesse sont rapides lorsque la baleine s'approche de ses proies. La vitesse maximale enregistrée pour les rorquals communs était de trois mètres par seconde, précisément celle qu'avaient calculée L. Orton et P. Brodie.

Les enregistrements ont également révélé qu'une décélération rapide du corps se produit, alors même que la baleine continue à nager activement ; cela indique que la baleine subit une puissante traînée lorsqu'elle ouvre largement la bouche – la traînée étant la résultante des forces s'exerçant dans la direction opposée à la progression de l'animal. De l'importance du freinage, on peut déduire non seulement la traînée subie, mais aussi la quantité d'eau engloutie par la baleine (voir la figure 4).

La taille et la forme des mandibules influent sur la taille et le gonflement de la cavité buccale, donc sur la quantité d'eau engloutie et, par conséquent, déterminent l'importance de la traînée. Afin de combiner les mesures morphologiques avec les données de mouvements obtenues grâce aux balises, Nick Pyenson, de l'Institution Smithsonian, Robert Shadwick, de l'Université de Colombie Britannique, et moi-même avons entrepris de mesurer le plus grand nombre possible de spécimens conservés dans des muséums (voir la figure 7).

Nous avons ainsi pu estimer la quantité d'eau engloutie par un rorqual commun à chaque capture de proies. Quand la gueule est ouverte au maximum, la cavité buccale se remplit à une vitesse d'environ 20 mètres cubes par seconde. À la fin d'une capture de six secondes, la masse d'eau accumulée est d'environ 60 tonnes, nouvelle confirmation de la prévision de P. Brodie. Le volume d'eau engouffrée a une masse comparable à celle d'un car scolaire, quantité colossale comparée au rorqual commun lui-même, qui pèse environ 45 tonnes.

En engloutissant un volume d'eau de masse supérieure à celle de son propre corps, la baleine subit une énorme traînée contre laquelle elle doit lutter en dépensant beaucoup d'énergie. Par rapport aux situations de nage normale, la traînée est

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 découpler, 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

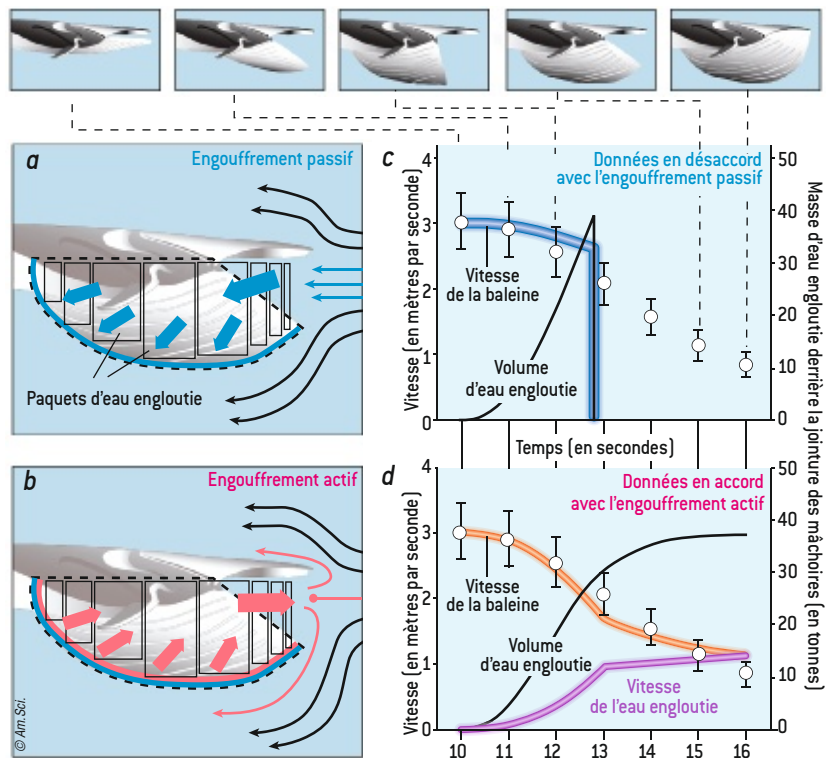
L'AUTEUR



Jeremy GOLDBOGEN, cétologue, 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*.

UNE BALEINE EST-ELLE UN PARACHUTE ?



Une baleine engouffreuse est-elle semblable à un parachute qui se gonfle passivement d'air ? Élargit-elle sa cavité buccale sous la seule pression de l'eau entrante (a), ou contrôle-t-elle activement ce processus, en utilisant ses muscles pour repousser l'eau vers l'avant (b, en rose) ? Les simulations de trajectoire de la baleine, qui prévoient sa vitesse lors d'un engouffrement passif (c, ligne bleue), ne concordent pas avec les données enregistrées par les balises électroniques (cercles blancs avec les barres d'erreur). En revanche, les simulations de trajectoire lors d'un engouffrement actif (d, ligne orange) correspondent à ces données. La mécanique de l'engouffrement d'une baleine est donc bien différente du déploiement d'un parachute.