

> En plongée profonde, le grand cachalot réalise son écholocalisation et communique avec ses partenaires par des « clics » ordonnés en séries décroissantes. Le premier d'une série est très puissant – jusqu'à 230 décibels –, puis l'intensité des suivants s'atténue. À 1000 mètres de profondeur, le cétacé ne peut produire ces ondes sonores en expulsant l'air de ses poumons. En effet, si, en surface, le volume des poumons d'un animal de 15 mètres est de 750 litres, à une telle profondeur, sous l'effet de la pression, il n'est plus que de 7,5 litres!

DEUX MIROIRS ET UN MATELAS

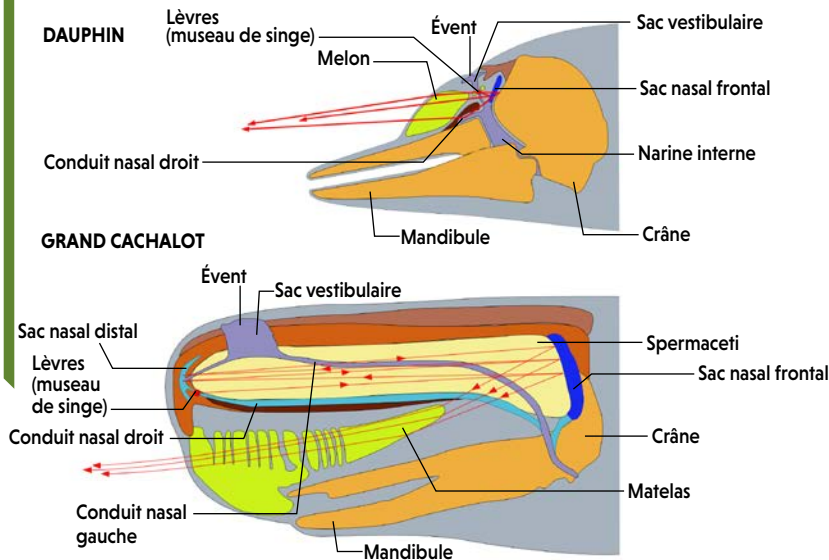
En fait, chez le grand cachalot, le site générateur des clics est à chercher du côté de son système nasal complexe et asymétrique dont l'anatomie fonctionnelle, étudiée dès 1885 grâce aux travaux pionniers de Georges Pouchet et Emmanuel Henri Beaugard, s'est récemment trouvée détaillée par Stefan Huggenberger et ses collègues (voir l'encadré ci-contre). Le conduit nasal gauche sert à la respiration, mais le droit est original: il forme deux sacs nasaux, l'un derrière le spermaceti, comme chez le dauphin (sac frontal), l'autre devant, en avant du museau (sac distal).

Intuitivement, Pouchet et Beaugard avaient compris la fonction capitale de ce sac distal. En décrivant l'anatomie fine du conduit nasal, ils découvrirent qu'à son arrivée sur ce sac, le conduit est doté de deux lèvres musculeuses en « museau de singe »: le site de génération des ondes sonores. Ce « museau » s'ouvre sous l'effet d'une surpression dans le conduit nasal. Les lèvres claquent et vibrent, produisant une série de sons dont la puissance et la répétition sont régulées par la pression de l'air et la tension des muscles. Les ondes rebondissent alors d'un sac nasal à l'autre, comme entre deux miroirs.

À chaque passage dans le spermaceti, une partie s'échappe à travers le matelas dont la graisse forme une succession de lentilles acoustiques, séparées par du tissu conjonctif et que des muscles peuvent déformer. Les ondes sont donc plus ou moins focalisées et guidées par le matelas jusqu'à l'avant de la tête, où elles sont émises dans l'eau. Elles forment un pinceau étroit lorsque l'animal fait de l'écholocalisation, plus large quand il s'agit de dialoguer. Et comme une partie des ondes s'échappe à chaque aller-retour dans le spermaceti, il y a une perte d'énergie. On comprend alors pourquoi le grand cachalot produit des séries de clics d'intensité décroissante.

UN SONAR ULTRAPERFECTIONNÉ

Pour se repérer, le dauphin ouvre son évent, gonfle ses poumons et ses sacs nasaux frontaux – l'analogue de nos sinus. Quand il expire, l'air fait vibrer des lèvres sous l'évent qui émettent alors des ondes sonores, lesquelles sont focalisées par le melon et émises dans l'eau. Rencontrant un obstacle, ces ondes reviennent en écho vers l'animal. Sa mâchoire inférieure joue le rôle d'antenne et les conduit jusqu'aux oreilles internes. Le dauphin localise l'obstacle grâce à l'intensité des ondes et à leur décalage par rapport à celles émises. Chez le grand cachalot, le conduit nasal gauche part du crâne et rejoint le sac vestibulaire qui débouche par l'évent: il sert à la respiration. Le droit, en revanche, forme deux sacs nasaux, l'un frontal, l'autre distal, avant de rejoindre le sac vestibulaire. Il est doté de lèvres qui vibrent sous l'effet d'une surpression, produisant des ondes sonores. Ces ondes se réverbèrent d'un sac nasal à l'autre. À chaque fois qu'elles atteignent le sac frontal, une partie s'échappe via le matelas dont la graisse forme une succession de lentilles acoustiques. Peu d'air suffit. Pas besoin, donc, de gonfler ses poumons...



Stefan Huggenberger et ses collègues montrent que la structure du dauphin est proche de l'état de l'ancêtre commun des odontocètes, tandis que celle du grand cachalot est dérivée. Analysons les processus qui ont fait passer d'un état dans un autre. Le site de déclenchement des ondes sonores, proche de l'évent, primitivement postérieur au melon, devient antérieur, nécessitant de longs canaux nasaux. Mais ainsi, chez le cachalot, ces ondes sont focalisées en suivant d'abord un mouvement rétrograde vers le crâne. Le « museau de singe » n'existe que sur un seul conduit nasal chez le cachalot, alors que son équivalent se trouve après la confluence des deux canaux nasaux chez le dauphin. Enfin, chez le cachalot, la dissociation anatomique et fonctionnelle entre les deux narines est totale, l'une servant à la respiration, l'autre à l'écholocalisation.

Ainsi, l'asymétrie, qui était d'abord liée à la déglutition de proies de grande taille chez les odontocètes, s'est trouvée ensuite utilisée dans la genèse d'un sonar ultraperfectionné adapté aux grandes profondeurs, offrant au grand cachalot une vie en maître dans un milieu obscur, mais sonore. ■

BIBLIOGRAPHIE

S. Huggenberger et al., **The nose of the sperm whale: Overviews of functional design, structural homologies and evolution**, *JMBA*, vol. 96(4), pp. 783-806, 2016.

C. D. MacLeod et al., **Breaking symmetry: The marine environment, prey size, and the evolution of asymmetry in cetacean skulls**, *Anat. Rec.*, vol. 290, pp. 539-545, 2007.

D. S. Houser et al., **Structural and functional imaging of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) cranial anatomy**, *J. Exp. Biol.*, vol. 207, pp. 3657-3665, 2004.

DÉCOUVREZ LES ARCHIVES DE **POUR LA SCIENCE**



RETROUVEZ TOUS
LES NUMÉROS
DEPUIS 1996

COMPLÉTEZ VOTRE
COLLECTION SUR
www.pourlascience.fr/archives



L'AUTEUR



HERVÉ THIS
physicochimiste,
directeur du Centre
international de
gastronomie moléculaire
AgroParisTech-Inra, à Paris

COMBINATOIRE SUR PÂTES

De la compote à la sauce blanche, les systèmes pâteux sont très variés. Classer et dénombrer les différentes possibilités aide à inventer de nouvelles préparations.



Il existe une grande diversité de pâtes, qui diffèrent dans leur constitution, mais aussi dans leur consistance et leur façon de s'écouler.

Les préparations que la cuisine désigne par le terme «pâtes» sont souvent nommées suspensions par la physicochimie. Les plus simples sont des dispersions de particules solides, comme pour les pâtes sablées où des grains d'amidon sont dispersés dans la matière grasse du beurre; mais il y en a de plus compliquées, telles les compotes, où des groupes de quelques cellules végétales, partiellement dégradées par le cisaillement, sont dispersés dans une phase aqueuse. Quelle est l'étendue des possibilités?

Les systèmes dispersés les plus simples sont ceux où un gaz, un liquide ou un solide sont dispersés dans un gaz, un liquide ou un solide. Les «suspensions liquides», tels les roux, correspondent à la dispersion d'un solide dans un liquide, et les «suspensions solides» correspondent à la dispersion d'un solide dans un solide, comme les grains d'amidon dans une pâte sablée très froide.

Reste la question: quelles suspensions pouvons-nous cuisiner?

Si l'on considère une suspension de particules solides dispersées dans un liquide, il en existe quatre types principaux, car le liquide peut être une solution aqueuse ou une matière grasse fondue (de l'«huile») tandis que le solide peut être cristallin ou amorphe.

Si, par exemple, le solide est du sucre en poudre, on a affaire à des cristaux. Mais si nous faisons un sirop concentré que nous refroidissons brusquement en le coulant sur un plan de travail froid, il formera un «verre»; c'est ainsi que l'on fait croquantes et nougates. Dispersés dans une solution aqueuse, de tels solides se dissoudront, mais à des vitesses différentes, ce

dont le cuisinier tiendra compte, sachant par ailleurs que si la taille des solides est inférieure à 15 micromètres, on ne perçoit plus leur présence. Et si la phase dispersante est de l'huile, on obtient des systèmes inédits que je vous invite à goûter.

Il y a bien mieux si l'on envisage des solides plus complexes, tels les gels, que l'on peut disperser dans des liquides également plus complexes, telles les émulsions ou les mousses. Dans une chronique ancienne, j'avais ainsi proposé une généralisation, dénommée *gay-lussac*, des veloutés foisonnés, obtenue par exemple en mêlant une crème fouettée à une sauce blanche. J'avais aussi proposé des dispersions de microgels, sous le nom de «lechatelier».

Surtout, ce mois-ci, je veux évoquer des résultats sur les nombres de possibilités dans la constitution des gels (voir mon article dans les Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France, vol. 1, pp. 1-12, 2017). Ainsi, le nombre de types simples de gels, de «classe 1», qui contiennent seulement une phase liquide (une solution aqueuse ou une huile) dispersée dans une phase solide, est de 16 si l'on tient compte de la dimensionnalité de la phase dispersée (dimension 0 si le liquide forme des points, dimension 1 s'il forme des canaux, dimension 2 pour des feuilletés, dimension 3 pour des blocs).

Mais le nombre de possibilités s'élève à près de 1500 si l'on passe aux gels de classe 2, où deux phases – gazeuse, liquide ou solide – sont dispersées dans la phase continue solide qu'est le réseau du gel.

Tous ces gels complexes peuvent se retrouver dans la phase continue liquide qui fait la suspension. Et l'on multiplie considérablement les possibilités en considérant que cette phase liquide peut être un liquide complexe, telle la mousse des *gay-lussac*.

Que diriez-vous d'une double dispersion formée de microcristaux imperceptibles parsemant la phase huile d'une émulsion foisonnée où l'on disperserait un gel foisonné et émulsionné? ■



LA RECETTE

- 1 Faire revenir des carapaces de crevettes dans de l'huile d'olive.
- 2 Au mixeur, broyer très finement du sucre, de l'acide citrique et les carapaces de crevettes brunies.
- 3 Dans une casserole, chauffer de la farine avec du beurre et faire un roux, que l'on ajoute à la dispersion précédente.
- 4 Cuire des oignons, des échalotes et des tomates dans du vin blanc. Mixer.
- 5 Quand cette préparation a un peu refroidi, lui ajouter de la crème fouettée.
- 6 Mélanger cela à l'huile et sa dispersion.



D'évolutions en révolutions



9 € • 128 pages

Suivez-nous
sur les réseaux sociaux



quesaisje.com

A

PICORER



Retrouvez tous
nos articles sur
www.pourlascience.fr

P.28

33 %

des conversions entre bitcoins et monnaies usuelles ont été piratées entre 2009 et 2015, selon un rapport de 2017 du département de la Sécurité intérieure des États-Unis.

P.56

KAZUMURA

C'est le nom donné à un tunnel de lave du volcan Kīlauea, à Hawaï. Ce conduit souterrain et naturel franchit 1102 mètres de dénivelé et s'étend sur 65 kilomètres avant de se déverser dans l'océan ! Au contact de l'eau de mer, la lave se solidifie et finit par former une plateforme instable, un delta de lave, qui s'écroulera quelques mois ou quelques années plus tard.

P.7

« Le clonage humain ne sera pas le fait de chercheurs institutionnels, mais de quelque savant dévoyé au service d'une secte, voire d'un entrepreneur cherchant à proposer une nouvelle façon de se reproduire. »

GEORGES CHAPOUTHIER, directeur de recherche émérite au CNRS

P.92

45°

Le souffle qu'un grand cachalot projette par son évent est incliné de 45° à gauche et atteint une hauteur de 15 mètres... soit à peu près sa taille.

P.74

PYRHÉLIOMÈTRES

Il y a un siècle, ces instruments servaient à mesurer la température à la surface du Soleil. En 1906, le physicien Charles Féry en conçut un prototype qu'il utilisa d'abord... pour mesurer la température des fourneaux d'usine. À l'époque, en effet, on évaluait celle-ci à l'aide d'un thermomètre. Placé au cœur du four, l'instrument ne durait jamais très longtemps...

P.24

DARWIN AWARDS

Ce prix est inspiré par un humour noir : il récompense chaque année, souvent à titre posthume, un individu qui, par un acte stupide ayant conduit à sa mort ou à sa stérilisation, dispense l'humanité de la transmission de son patrimoine génétique.

P.48

425 MILLIONS

C'est le nombre de personnes atteintes de diabète dans le monde en 2017, selon une estimation de la Fédération internationale du diabète. Parmi elles, 90 % souffrent d'un diabète de type 2, 10 % d'un diabète de type 1.



Espace offert par le support

Grâce à l'engagement des bénévoles,
Sarah a vu son rêve se réaliser.
Pour que d'autres enfants et adolescents
gravement malades puissent vivre une parenthèse
enchantée dans leur combat contre la maladie,
l'Association Petits Princes a besoin de vous.

DEVENEZ BÉNÉVOLE

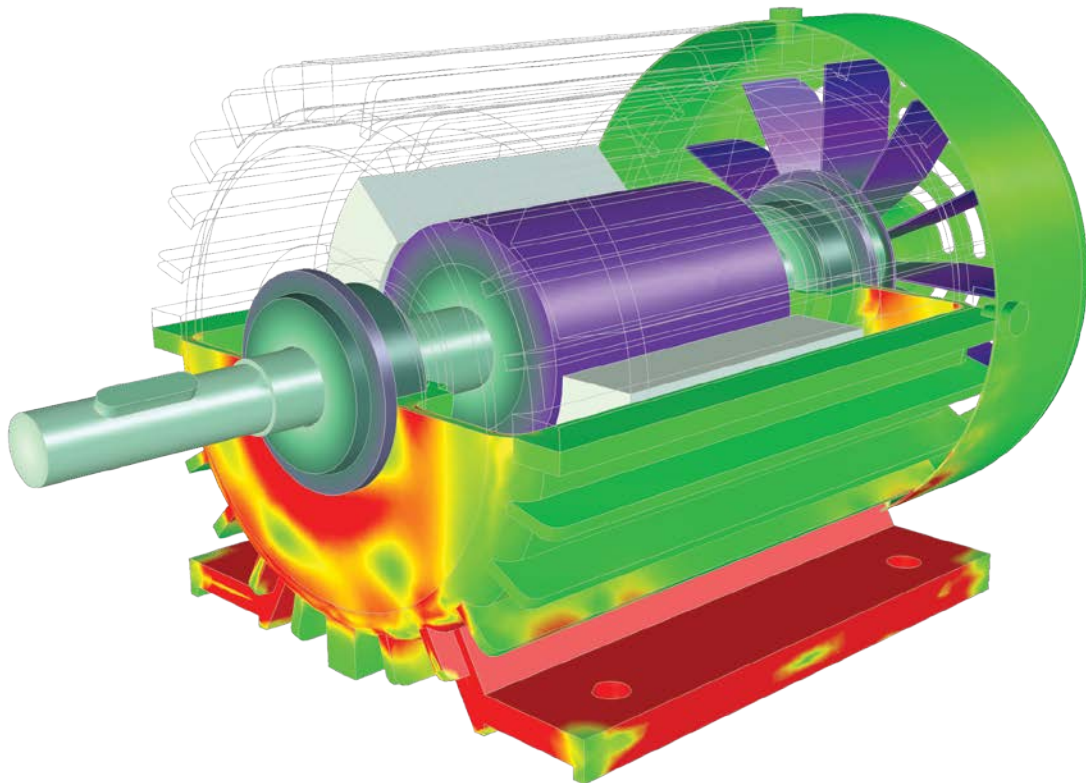
01 43 35 49 00

www.petitsprinces.com

**RÉALISEZ
LES RÊVES
DES ENFANTS
GRAVEMENT
MALADES.**

Chaque jour, un rêve d'enfant est réalisé.

Inventé au 19^{ème} siècle. Optimisé pour aujourd'hui.



Distribution des contraintes de von Mises dans le carter d'un moteur à induction avec prise en compte des effets électromécaniques.

Au 19^{ème} siècle, deux scientifiques ont inventé séparément le moteur à induction AC. Aujourd'hui, c'est un composant commun en robotique. Comment y sommes nous arrivé, et comment les ingénieurs d'aujourd'hui peuvent-ils continuer d'améliorer ces moteurs?

Le logiciel COMSOL Multiphysics® est utilisé pour simuler des produits, des systèmes et des procédés dans tous les domaines de l'ingénierie, de la fabrication et de la recherche. Découvrez comment l'appliquer pour vos designs.

comsol.blog/induction-motor