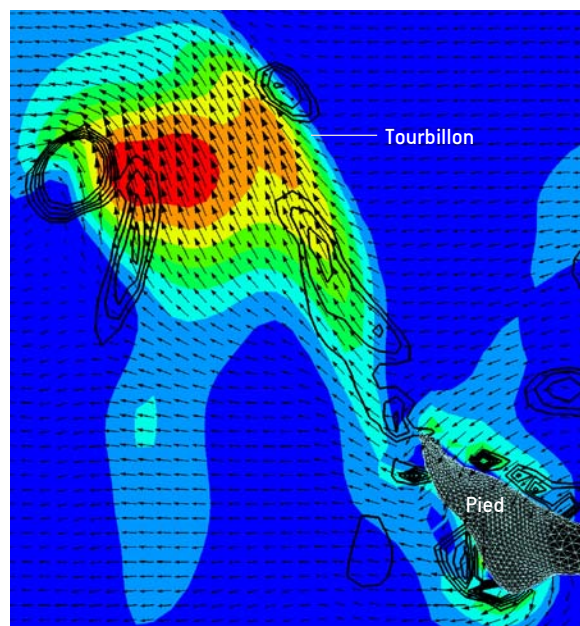
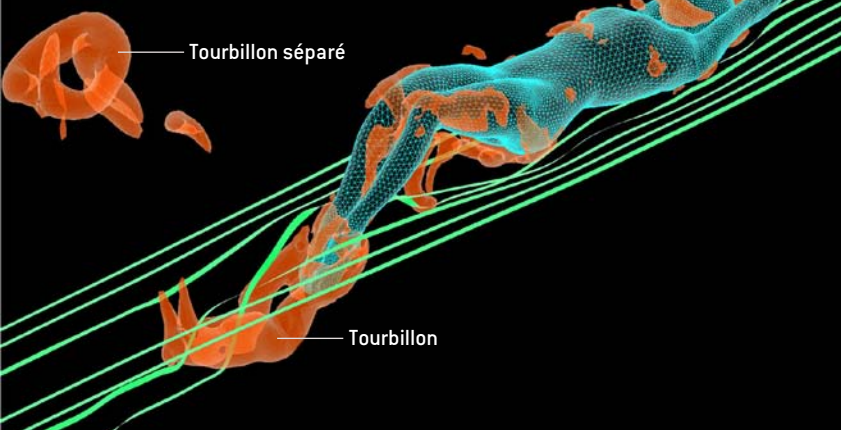


4. SIMULATION NUMÉRIQUE de la séparation d'un tourbillon durant un battement de jambes papillon [phase subaquatique]. On crée un modèle du corps en le divisant en milliers de petits éléments. La résolution numérique des équations de la dynamique des fluides, dites de Navier-Stokes, donne le comportement des principales grandeurs du fluide autour du corps, tels les vecteurs vitesse dans le tourbillon (*ci-contre*).



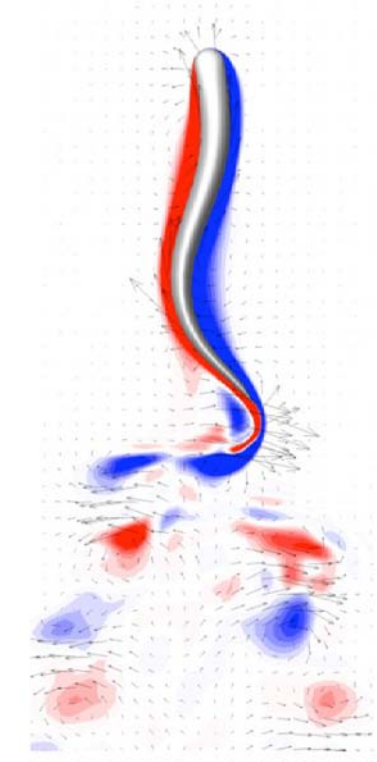
Alfred von Loebeck (Univ. George Washington), Rajat Mittal (Univ. Johns Hopkins)

gagné en finesse, que tous les mécanismes décrits ici interviennent dans la propulsion du nageur, dans des proportions variables en fonction des nages et de la division bras-jambes. Par exemple, lors de la nage papillon, les tourbillons produits par les jambes pourraient avoir un rôle prédominant, tandis que, côté mains, la traînée l'emporterait.

Si la compréhension des mécanismes de la nage est lente, c'est aussi pour des raisons pratiques : les physiciens et ingénieurs qui s'intéressent à la natation sont peu nombreux et ne disposent pas des moyens techniques et financiers des secteurs aéronautique et naval. Enfin, leurs recherches visent souvent à mesurer et à améliorer les performances des nageurs plutôt qu'à approfondir les bases théoriques du mouvement des athlètes dans l'eau.

Améliorer la théorie... et le matériel

Aujourd'hui, les scientifiques suivent deux principales lignes directrices. L'une est la mise au point de simulations plus fines et de méthodes de mesure plus précises afin de démontrer expérimentalement les diverses théories de la propulsion. En effet, aucune équipe n'a jusqu'ici pu fournir des preuves irréfutables à l'appui de ses thèses. L'autre ligne directrice consiste à appliquer des connaissances théoriques et des avancées technologiques à l'amélioration de la technique des nageurs. L'évolution des différentes théories a poussé les entraîneurs



Reproduit avec la permission de S. Kern et P. Koumoutsakos, JEB, 2009, 4041-4057, 2006

5. SIMULATION DES TOURBILLONS produits par la nageoire caudale d'un poisson vu de dessus et des vecteurs vitesse du fluide autour de l'animal. En bout de course d'un côté du corps, la nageoire amorce son mouvement vers l'autre côté. Le tourbillon bleu se détachera alors de la nageoire, tandis qu'un tourbillon dans l'autre sens (*en rouge*) apparaîtra à sa place. Ces tourbillons augmentent la vitesse du poisson. Un phénomène similaire pourrait intervenir aux pieds du nageur.

à proposer plusieurs modifications dans l'exécution du mouvement de bras, sur la longueur de la phase de glisse subaquatique, la trajectoire à adopter sous l'eau, la rotation des épaules ou la position de la tête. Enfin, malgré l'interdiction des supercombinaisons, les simulations et expériences visant à mettre au point des matériaux plus performants ont toujours le vent en poupe : costumes en fibres de carbone et lunettes intégrées au bonnet de bain pour réduire la traînée sont les dernières marottes du moment (*voir l'encadré page ci-contre*).

Les aptitudes de l'homme à se mouvoir dans l'eau semblent limitées : ses «nageoires» sont trop longues et trop fines et sa technique discutable. Son efficacité propulsive – rapport entre la puissance utile à la propulsion et la puissance totale produite (la puissance utile et celle qui s'est dissipée dans l'eau) – est faible comparée à celle des poissons. Calculée de façon indirecte à l'aide de mesures expérimentales et de modèles hydrodynamiques de l'homme dans l'eau, elle serait d'environ 50 pour cent, tandis que celle des poissons est estimée à 80 pour cent. Cela signifie que l'homme disperse la moitié de son potentiel propulsif et que sa technique, même si elle s'améliore d'année en année (les records en natation progressent bien plus vite qu'en athlétisme), n'a pas encore trouvé son point d'aboutissement. ■

Retrouvez plus d'informations sur
www.pourlascience.fr

fr

Quand les accordent

1. LES ÉLÉPHANTS D'AFRIQUE
vivent en sociétés matriarcales.
Ils émettent des cris variés et sont
capables d'imiter des sons
entièrement nouveaux.

animaux leurs cris

Kendra Sewall

Les animaux de plusieurs espèces sociales imitent les cris de leurs congénères. Ce phénomène renforce les liens entre individus et favorise la survie de l'espèce.

Nous devinons souvent d'où vient notre interlocuteur juste en l'entendant parler. Pour ce faire, nous nous fondons sur des indices tels que l'accent et le vocabulaire, qui caractérisent les dialectes régionaux. De même, au sein d'un dialecte, les inflexions et les intonations diffèrent parfois selon la classe socio-économique.

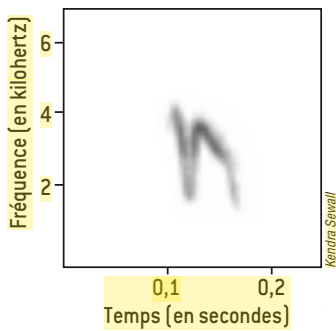
Le partage de caractéristiques vocales par des individus d'une région géographique ou d'un groupe social n'est pas propre aux humains. Il se rencontre aussi chez d'autres animaux capables d'apprentissage vocal. La plupart des espèces émettent leurs cris de façon innée, sans lien avec leurs expériences sociales, mais quelques-unes les apprennent : c'est notamment le cas de certains oiseaux, des cétacés, des chauves-souris et des éléphants. Nombre d'espèces capables d'un tel apprentissage effectuent une convergence vocale : les individus modifient légèrement certains de leurs cris pour les rendre similaires à ceux de leurs congénères (les membres de leur couple, de leur famille, de leur groupe social...); on dit que leurs vocalisations deviennent concordantes. Ainsi, les cris concordants refléteraient l'appartenance sociale.

L'ESSENTIEL

- De nombreux animaux sociaux émettent tout un répertoire de cris aux fonctions variées.
- Certains modifient légèrement leurs cris pour les rendre semblables à ceux de leurs congénères. Les cris concordants refléteraient ainsi une appartenance sociale.
- La concordance vocale augmenterait la valeur adaptative des individus, en facilitant des coopérations dont résultent des bénéfices mutuels.

Les orques (*Orcinus orca*), par exemple, sont capables de convergence vocale. Ces baleines chassent en groupes stables, nommés pods. Tous les pods d'une même région sont génétiquement apparentés et forment un clan. Volker Deecke, de l'Université de Cumbrie, en Angleterre, ainsi que John Ford et ses collègues de l'Université de la Colombie-Britannique, au Canada, ont montré que les orques d'un même clan émettent des vocalisations ayant de multiples caractéristiques communes, comme si elles avaient le même accent. Cet accent reflète la lignée des animaux et leur appartenance au clan. Les vocalisations sont encore plus similaires au sein d'un pod, ce qui permet de déterminer précisément à quel groupe social appartient une orque, ainsi que sa région d'origine.

Pour que la concordance vocale perdure, elle doit augmenter les chances de survie et de reproduction des individus, ou, selon la terminologie évolutionniste, la valeur sélective des individus. En effet, leurs caractéristiques sont modelées par la sélection naturelle et sexuelle. En quoi un animal favorise-t-il sa survie ou sa reproduction en imitant ou en répondant à



2. LES VOCALISATIONS des animaux sont représentées sous forme de spectrogrammes, qui montrent la variation de la fréquence sonore au cours du temps (ici un cri de bec-croisé des sapins).

des appels similaires à ceux de ses congénères ? C'est ce que nous examinerons ici.

Les animaux utilisent des vocalisations à des fins variées (voir l'encadré ci-dessous) : l'écureuil émet un caquetage coléreux avertissant ses congénères quand il détecte un prédateur, le lion de mer (la plus grosse des otaries) produit un aboiement agressif pour défendre son territoire... Les appels de contact forment une catégorie particulière de vocalisations, grâce auxquelles les animaux maintiennent le contact avec leurs congénères pendant qu'ils se déplacent, ou le rétablissent après une séparation.

De nombreuses espèces émettent des appels de contact. Au sein de certaines, les individus accordent leurs appels avec ceux

de leurs compagnons. Les espèces manifestant ce comportement sont presque toutes hautement sociales : elles coopèrent pour trouver ou défendre leur nourriture, élever les petits et éviter les prédateurs.

L'association entre concordance vocale et coopération peut paraître évidente, car nous-mêmes imitons les accents et les schémas d'expression des autres. Cette accommodation vocale, comme on la désigne en linguistique, mettrait celui qui écoute en confiance, faciliterait la compréhension du message et refléterait les intentions coopératives et l'appartenance au même groupe. Mais chez les animaux, comment la concordance vocale augmente-t-elle la valeur sélective ?

DES CRIS AUX FONCTIONS VARIÉES

Les cris jouent un rôle essentiel dans les interactions de nombreux animaux sociaux : baleines, dauphins, phoques, éléphants, primates... Ces animaux ont tout un répertoire de cris, chacun ayant une fonction spécifique : alarme (en cas de détection d'un prédateur), agression (pendant les conflits), excitation (par exemple pour signaler une source de nourriture abondante), quémandage (lorsqu'un oisillon demande de la nourriture), etc. Les cris correspondant à ces fonctions sont présentés ci-dessous pour le bec-croisé des sapins (*Loxia curvirostra*), un passereau.

On a longtemps pensé que les cris étaient déterminés génétiquement, sans influence du contexte social. On sait aujourd'hui que certains animaux les apprennent. On distingue deux types d'apprentissage vocal. Le premier, qualifié de contextuel, consiste à apprendre à quel moment émettre tel ou tel cri : pour les cris d'alarme, par exemple, les jeunes savent les produire de façon innée, mais les émettent parfois au mauvais moment ou pour le mauvais prédateur (le cri peut être différent pour un prédateur terrestre ou aérien). Dans ce type d'apprentissage,

les cris n'évoluent pas ; seule change la situation où chacun est émis.

Le second type d'apprentissage est dit de production. Les animaux imitent des cris totalement nouveaux, ou modifient légèrement leurs cris pour les faire ressembler à ceux de leur congénère. Dans ce dernier cas, on parle de convergence vocale. Ce phénomène concerne souvent les appels de contact, utilisés pour maintenir le contact (ou se retrouver après une séparation) au sein d'un couple, d'une famille ou d'un groupe social plus vaste.

