de jet à six mètres par seconde en fin de jet. Il y a donc bien concentration d'énergie, mais elle a lieu non pas dans l'organisme, avant l'envoi du projectile, mais en dehors, une fois que ce dernier est lancé.

Comment s'effectue cette concentration d'énergie ? L'astuce du poisson-archer est d'émettre un jet d'eau à une vitesse qui augmente progressivement. De cette façon, le front du jet est rattrapé par des parties liquides éjectées plus tard et qui sont plus rapides. Autrement dit, la tête du jet gagne à la fois en masse et en vitesse. Le liquide, éjecté de la bouche avec une faible puissance sur une relativement longue durée, arrive sur sa cible sur une durée bien plus courte, donc avec une puissance accrue.

Plus remarquable encore, l'analyse des tirs visant des proies placées à des hauteurs variées (de 20 à 60 centimètres) montre que Toxote parvient à ajuster la distance de focalisation de la puissance du jet. Pour ce faire, il joue à la fois sur la durée de l'émission et sur la vitesse d'éjection : plus la proie est distante, plus la durée de l'émission est longue et la variation de vitesse le long du jet importante.

L'instabilité du jet évitée

Avons-nous complètement éclairci le mystère de l'arme des crimes ? Notre second groupe d'experts, sous la houlette du physicien Alberto Vailati, à l'Université de Milan, avance deux éléments qui nous permettent d'en douter.

D'abord, l'eau étant incompressible, le front du jet qui grossit lorsqu'il est alimenté par l'arrière ne devrait-il pas s'étaler transversalement plus qu'il ne le fait (environ un centimètre) ? Cela lui ferait perdre de sa puissance d'impact, puisque seule la portion du front qui frappe la cible agit.

Par ailleurs, si les experts de Bayreuth ont reproduit le mécanisme de l'arme du crime avec une seringue sur laquelle on appuie de plus en plus fort, ils ont constaté que le jet émis par l'instrument se brise souvent. Or cela disperse la puissance hydrodynamique.

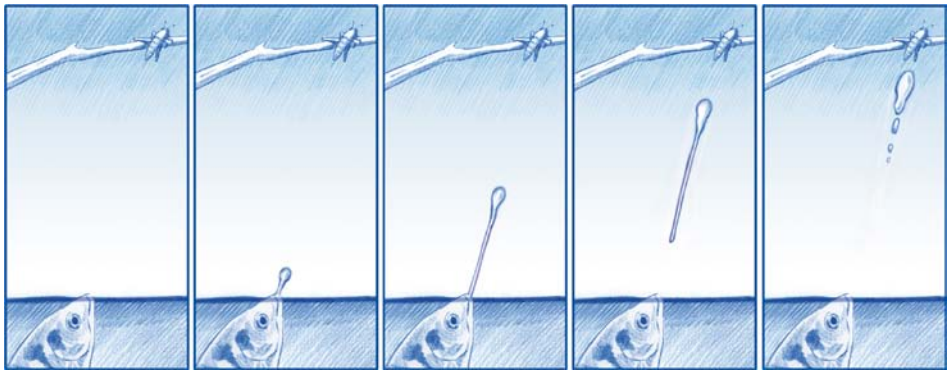
Dans le cas d'un filet d'eau parfaitement cylindrique et régulier, cette fragmentation porte le nom d'instabilité de Rayleigh-Plateau. Il s'agit d'une manifestation de la tension superficielle. On peut assimiler la surface du liquide à une mince pellicule élastique, qui doit être la moins étendue possible. Après son émission, le filet liquide se met à onduler légèrement dans son épaisseur, avec une périodicité proportionnelle au diamètre du cylindre ; par un mécanisme d'instabilité, l'amplitude des ondulations augmente jusqu'à découper le filet en un chapelet de gouttes.

En supposant que le diamètre du jet émis par Toxote est de l'ordre de trois millimètres, on calcule que l'instabilité de Rayleigh-Plateau se développe en environ 20 millisecondes, tandis que les gouttes formées font environ six millimètres. Ces valeurs sont de l'ordre de grandeur des durées et tailles observées, mais elles leur sont inférieures et, selon le calcul, le jet devrait se fragmenter bien avant d'atteindre sa cible.

En examinant soigneusement les photos prises lors de la planque, on constate

LES AUTEURS

Jean-Michel COURTY
et Édouard KIERLIK
sont professeurs de physique
à l'Université Pierre
et Marie Curie, à Paris.
Leur blog : http://blog.idphys.fr



LA VITESSE ET LE DÉBIT du jet d'eau est précisément modulé par le poisson-archer qui l'émet. Le jet devient plus fin et plus rapide qu'au début de l'émission, si bien que du liquide vient rattraper la tête du jet. Ainsi, le volume de liquide concentré dans la tête du jet et sa vitesse augmentent, d'où un impact puissant sur la proie. La modulation de l'émission a même pour effet d'éviter que le jet se fragmente en gouttelettes, ce qui nuirait à son efficacité.

© Pour la Science - n° 450 - Avril 2015

BIBLIOGRAPHIE

P. Gerullis et S. Schuster, **Archerfish actively control the hydrodynamics of their jets**, *Current Biology*, vol. 24, pp. 2156-2160, 2014.

A. Vailati *et al.*, **How archer fish achieve a powerful impact : Hydrodynamic instability of a pulsed jet in *Toxotes jaculatrix***, *PLoS One*, vol. 7, e47867, 2012.

Retrouvez la rubrique Idées de physique sur www.pourlascience.fr

bien que la queue du jet se fragmente et que les ondulations caractéristiques sont présentes dans la partie centrale du jet. Mais, et c'est encore une surprise, ces ondulations semblent contrôlées : plus la cible est distante, plus elles se développent tard.

Nos experts n'ont pas ménagé leurs efforts pour trouver des substances illicites au sein du crachat de Toxote, qui expliqueraient ces performances par des modifications de la tension superficielle ou de la viscosité. Las, rien n'y a fait : le liquide qui jaillit de la bouche du poisson-archer est de la banale eau.

Il faut se rendre à l'évidence, le poisson-archer module avec soin son émission dans la durée, de façon à éviter que le corps du jet se fragmente le long de la trajectoire sous l'effet de la tension superficielle, tandis que cette dernière empêche que la tête du jet s'étale trop latéralement, afin de préserver la puissance de l'impact.

Nos experts ont donc poursuivi leurs études et observé la façon dont Toxote ouvre la bouche. Loin d'être un simple « j'ouvre la bouche, je la maintiens ouverte, je la ferme », la procédure est plus compliquée. Entrouverte avant l'éjection du liquide, la bouche s'ouvre puis se ferme progressivement avec la même amplitude (environ quatre millimètres), mais avec des durées qui varient selon la distance de la cible. Pour être complet, il faudrait étudier comment se contractent les branchies !

La conclusion est que, pour exercer un tel contrôle, le poisson-archer doit avoir un système neuronal performant, propice à d'autres capacités cognitives… Où donc Toxote s'arrêtera-t-il ? ■

© Pour la Science - n° 450 - Avril 2015