

plastique suspendues, le public pouvant pénétrer dans deux d'entre elles. D'autres contiennent de l'eau, d'autres encore abritent des plantes. On peut voir dans ces bulles une métaphore de ce que pourrait être le destin de nos descendants : vivre reclus dans des milieux confinés, coupés du reste de la planète devenu inhospitalier. Selon Tomás Saraceno, c'est bien le rôle de l'art : « nous faire réfléchir à des choses que l'on pensait établies. »

Ses œuvres, inspirées par des bulles de savon, les toiles d'araignées (*voir sa dernière installation page ci-contre*), les réseaux de neurones, la forme des nuages... invitent à

poser un regard différent sur l'environnement et à imaginer des modes de vie alternatifs.

On a longtemps reproché aux artistes de ne pas s'intéresser au changement climatique et à ses conséquences. Cette époque semble aujourd'hui révolue. L'art joue désormais un rôle dans l'ancrage de la question climatique dans le monde réel, ancrage qu'appellent de leurs vœux le sociologue Stefan Aykut et l'historienne des sciences Amy Dahan dans *Gouverner le climat ?*, leur dernier ouvrage. ■

Tomás Saraceno : www.tomassaraceno.com
Art of Change 21 : <http://artofchange21.com>

Les *Biosphères* de Tomás Saraceno exposées en 2011 et 2012 au Musée d'Art contemporain de Berlin, situé dans l'ancienne gare de Hambourg.



IDÉES DE PHYSIQUE

Le tireur embusqué des mangroves

Le poisson-archer projette sur ses proies un puissant jet d'eau. Une technique de chasse dont l'efficacité repose sur un contrôle hydrodynamique précis.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Tout fut tellement rapide que Dédée l'araignée n'a pas compris ce qui lui arrivait. Accrochée sous une feuille, elle ne vit pas le projectile liquide monter vers elle à plus de 20 kilomètres à l'heure. Le choc fut violent : trou noir, chute et fin de vie dans le gosier de Toxote, le tueur des mangroves, un des membres du gang des poissons-archers. Comment opère ce tueur en série, du clan *Toxotes jaculatrix* ? Nos limiers physiiciens mènent l'enquête.

Nous nous renseignons auprès d'un de nos indicateurs, Léon le Caméléon, un expert

dans l'attaque à distance. « Dégommer les insectes, ce n'est pas pour les bleus », nous explique-t-il. « Araignées, lucioles et autres friandises sont solidement accrochées à leur végétal, avec une force de 20 à 40 millinewtons. Si vous voulez les atteindre à distance et les décrocher, il faut asséner un coup puissant. »

Léon nous révèle que, pour projeter sa langue à 20 kilomètres par heure, il stocke progressivement l'énergie dans des fibres élastiques de collagène. Il relâche alors ses muscles, qui agissent comme une gâchette libérant un ressort : la langue se détend en

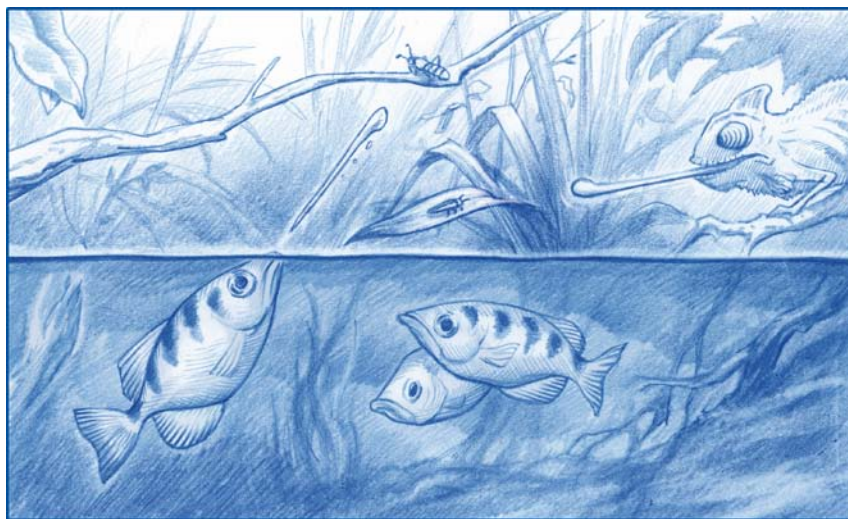
1/25^e de seconde avec une puissance de 3 000 watts par kilogramme, six fois plus que celle atteinte par un muscle de vertébré. Et Toxote, notre suspect, comment fait-il pour concentrer la puissance ?

La puissance concentrée à l'avant du jet

Nous commençons donc à examiner en détail le poisson-archer. L'anatomie et la physiologie de sa bouche ne montrent hélas aucune trace de mécanisme amplificateur ou de stockage d'énergie. On voit juste que sa langue peut s'appuyer contre un sillon tracé dans son palais et former comme un canon de fusil où l'eau s'engouffre lorsque le poisson referme ses branchies. Ferions-nous fausse route ? Une planque s'impose afin d'observer le mode opératoire du poisson.

Toxote ne perd pas de temps : il s'approche de la surface et émet un jet qui atteint sa proie, située 60 centimètres plus haut, en moins de 0,2 seconde. Décrochée, elle tombe à l'eau et le poisson-archer l'avale sur-le-champ. Mais comment parvient-il à concentrer assez d'énergie dans son projectile liquide ? L'analyse au ralenti de son forfait va nous renseigner.

Grâce à nos experts de l'Université de Bayreuth, le biophysicien Stefan Schuster et sa doctorante Peggy Gerullis, on constate que durant son avancée vers la cible, la tête du jet d'eau grossit et gagne en vitesse, passant de trois mètres par seconde en début



Dessins de Bruno Vacaro

LES POISSONS-ARCHERS, appartenant au genre *Toxotes*, vivent dans les estuaires et mangroves du Sud de l'Asie. Ils émettent un jet d'eau suffisamment précis et puissant pour faire tomber une proie perchée au-dessus de l'eau, à des hauteurs pouvant aller jusqu'à trois mètres.

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.

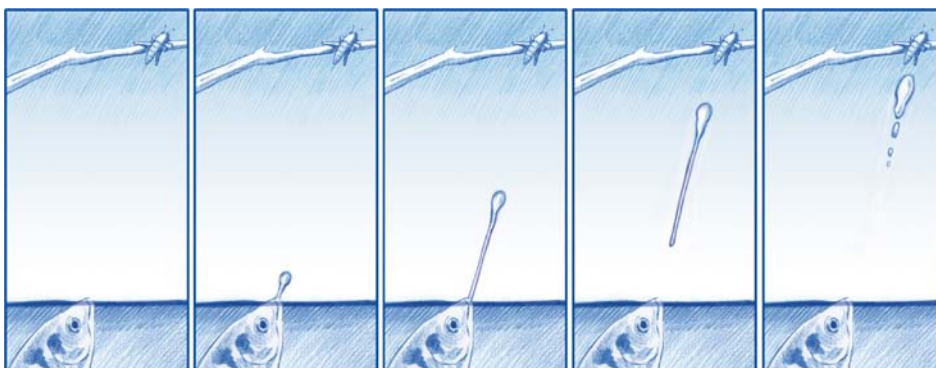
En supposant que le diamètre du jet émis par Toxote est de l'ordre de trois millimètres, on calcule que l'instabilité de Rayleigh-Plateau se développe en environ 20 millisecondes, tandis que les gouttes formées font environ six millimètres. Ces valeurs sont de l'ordre de grandeur des durées et tailles 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 COURTJY 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.

■ 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 ? ■

APPEL À PROJETS INTERNATIONAL CONNECTALENT.ORG

NUMÉRIQUE
SANTÉ
VÉGÉTAL
ALIMENTATION
MATÉRIAUX
EMR
GÉNIE CIVIL
SCIENCES HUMAINES
ET SOCIALES

...

DÉPOSEZ VOS PROJETS SUR CONNECTALENT.ORG

Vous avez un projet porteur et souhaitez participer au rayonnement d'un territoire de savoir et d'innovation ?

Rejoignez les Pays de la Loire. Partenariats originaux, stratégies de recherche d'excellence, investissements de rupture, programmes de formation à forte valeur ajoutée, les défis de demain n'attendent que vous.

CONNECTALENT.ORG

l'esprit grand ouvert

