

IDÉES DE PHYSIQUE

Un poisson-coffre dans la voiture

Les performances hydrodynamiques du poisson-coffre ont inspiré les concepteurs d'automobiles. Même si ces performances gardent une part de mystère !

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Difficile d'imaginer moins aérodynamique qu'un cube. C'est pourtant la forme de poissons qui réalisent des virages à 180 degrés sur place, se faufilent avec aisance dans leur milieu naturel et sont capables de jolies pointes de vitesse. De qui s'agit-il ? Des poissons-coffres, bien sûr !

Ces espèces tropicales, souvent joliment colorées, n'ont pas manqué d'intriguer les physiiciens depuis une quinzaine d'années et même d'inspirer les ingénieurs, emportés par la vague du biomimétisme. Ainsi, un modèle de voiture en a adopté la forme (voir l'illustration ci-contre). Cependant, des études un peu contradictoires montrent que l'on n'est toujours pas sûr de ce qui rend ces poissons si bon nageurs.

L'idée des ichtyologues n'est pourtant pas fantaisiste : dans le monde exigu des coraux, cet animal à la forme rigide manœuvre aussi bien, voire mieux, que ses cousins qui ondulent avec grâce. Il pivote sur place, parcourt en une seconde jusqu'à cinq fois sa taille et, cerise sur le gâteau, sa traînée hydrodynamique est étonnamment faible.

Des études menées entre 2002 et 2005 sous l'impulsion de l'armée américaine l'ont confirmé. Comme les poissons-coffres ne se montraient guère coopératifs, il a fallu les congeler et les passer au scanner 3D pour réaliser des modèles (sans nageoires) en résine, truffés de capteurs de pression et de forces, et mesurer l'écoulement grâce à des techniques de vélocimétrie laser.

Première constatation : le coefficient de traînée, qui caractérise la résistance à l'avancement dans un fluide, est effectivement très faible. Noté C_x , ce nombre est le double du rapport entre la force de résistance et le produit de la masse volumique du fluide (ici l'eau), de la superficie frontale de l'objet en mouvement et du carré de sa vitesse.

Lorsque l'écoulement présente de la turbulence au niveau du sillage, mais pas à la surface de l'objet, ce coefficient est à peu près constant. Il est de l'ordre de 0,5 pour une sphère, inférieur à 0,1 pour un objet bien profilé et supérieur à 1 pour un cube ou un cylindre court ! Les mesures sur plusieurs poissons-coffres donnent

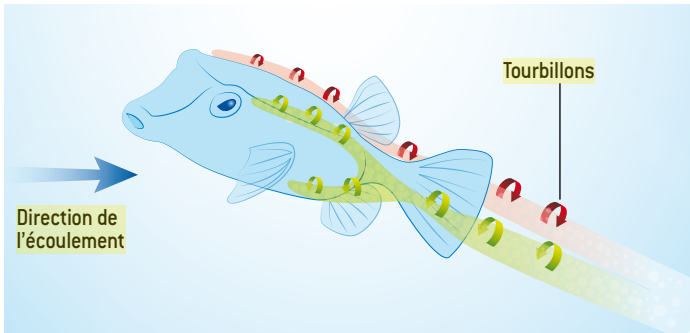
Un modèle vivant pour l'industrie automobile

L'histoire débute en 1996. Les ingénieurs de Mercedes, peinant à imaginer ce que pourrait être un véhicule biomimétique, reçoivent une suggestion de leurs voisins ichtyologues de l'université de Stuttgart. « Abandonnez requins et autres thons, souples et effilés, mais bien trop aplatis pour loger conducteur et passagers : calquez plutôt votre véhicule sur le poisson-coffre ! » Étrange proposition que de s'inspirer d'un poisson d'un beau volume parfois presque cubique et doté d'une carapace osseuse et anguleuse...

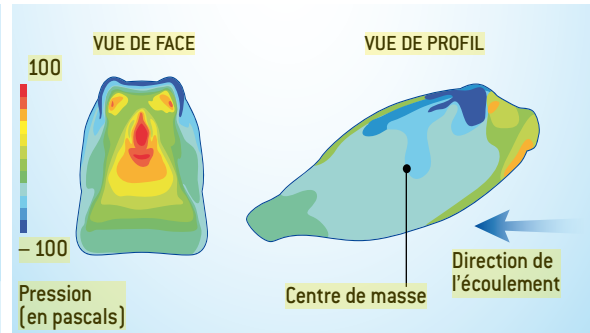


Dessins de Bruno Vacaro

MALGRÉ SA FORME À PEU PRÈS CUBIQUE, le poisson-coffre offre peu de résistance à l'écoulement du fluide autour de lui. Il a inspiré les ingénieurs de Mercedes avec leur modèle Bionic.



DEUX SÉRIES DE TOURBILLONS naissent de chaque côté du poisson-coffre, au niveau des arêtes du « cube », et fusionnent près de la queue. Les dépressions exercées sur la carapace par ces tourbillons tendent à redresser le poisson pour l'aligner avec la direction de l'écoulement. C'est un effet stabilisant.



IL RÈGNE UNE FORTE SURPRESSION au niveau de la bouche et de fortes dépressions au-dessus des yeux et sur le dessus de la carapace quand le poisson est incliné vers le haut. Il en résulte un couple qui l'incline encore plus. C'est un effet déstabilisant.

D'après S. Van Wassenbergh et al., J. R. Soc. Interface, 2015

environ 0,28 pour *Ostracion meleagris*, dont la forme est parallélépipédique, et 0,15 pour *Lactophrys triqueter*, de section triangulaire.

Seconde constatation : ce poisson est stable. Pourtant, d'après notre intuition, la moindre perturbation du fluide devrait le basculer afin qu'il présente à l'écoulement une arête anguleuse (où se soudent les plaques de sa carapace), mieux profilée.

Ce paradoxe a été résolu à l'aide de maquettes diversement inclinées par rapport à la direction horizontale de l'écoulement. Les chercheurs ont observé des tourbillons sur chacune des arêtes (voir la figure ci-dessus), comme sur les bords d'attaque des avions à ailes en delta. Ces tourbillons deviennent de plus en plus forts à mesure que l'inclinaison augmente.

Or, tout comme les tornades qui aspirent les toits, ces tourbillons créent des dépressions au niveau de la carapace, surtout aux endroits où ils en sont proches. Comme ils apparaissent plutôt à l'arrière du poisson (et de chaque côté), cette succion sur la carapace a le même effet qu'une traction vers l'arrière exercée par des cordes attachées aux mêmes endroits : on obtient un couple par rapport au centre de masse qui redresse le poisson vers l'horizontale. Puisque les mêmes phénomènes surgissent pour les embarcées (les mouvements vers la gauche ou la droite), il faut en déduire que, par sa forme anguleuse, le poisson-coffre est muni d'un dispositif passif et permanent de stabilisation de trajectoire.

Avec de telles conclusions, rien d'étonnant à ce que les ingénieurs de Mercedes aient été au bout de leur labeur avec leur modèle Bionic, inspiré de l'espèce *Ostracion cubitus*. Cette berline a, malgré son vaste espace intérieur, un fabuleux coefficient de traînée : 0,19.

Reste une difficulté : comment se fait-il que ces mécanismes de stabilisation ne gênent pas le poisson-coffre dans ses manœuvres ? Car plus un mobile est stable, moins il est maniable. Les avions à aile delta, par exemple, sont maniables, mais intrinsèquement instables. Pour élucider ce paradoxe, profitant des évolutions techniques, l'impression 3D de haute précision notamment, des équipes euro-américaines ont repris les études, à partir de spécimens prêtés par les musées et en y ajoutant des simulations hydrodynamiques pour mieux évaluer les champs de pression et de vitesse de l'écoulement.

Un paradoxe qui a la peau dure

Hélas, loin de corroborer la précédente étude, les auteurs de la seconde ne sont pas loin de conclure le contraire. D'abord, les coefficients de traînée sont notablement plus élevés : près de 0,3 pour *L. triqueter* et *O. cubitus*. Ensuite, il n'y a pas d'autostabilisation due à la forme, mais bien plus une amplification des écarts de trajectoire. Par exemple, lorsque la maquette de *O. cubitus* est inclinée vers le haut, on observe une forte

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>



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

suppression au niveau de la bouche et une zone de fortes dépressions au-dessus des yeux et sur le dessus de la carapace (voir la figure page ci-contre) ; compte tenu de l'anatomie du poisson, cela engendre un couple qui l'incline encore plus. Tout compte fait, ces contributions déstabilisantes l'emportent sur l'effet stabilisant des tourbillons, lequel se voit (ouf!) malgré tout confirmé.

Mais pourquoi ces différences entre les deux études ? Les capteurs de pression de la première étude étaient-ils mal disposés ? Les détails anatomiques des espèces ont-ils joué ? Et comment les ingénieurs de Mercedes ont-ils conçu un véhicule particulièrement stable et aérodynamique à partir de conclusions fausses ?

En premier lieu, tous s'accordent à dire que les nageoires doivent jouer un rôle essentiel dans la nage du poisson-coffre. Si la queue (nageoire caudale) et les nageoires pectorales

jouent le rôle de gouvernes, les nageoires dorsales et anales agissent comme des hélices propulsives. Des mesures sur des poissons bien vivants ont montré que ces dernières engendrent leurs propres tourbillons, d'intensité similaire à ceux de la carapace, de même sens ou de sens contraire. Le poisson peut donc, à volonté, soit affaiblir l'effet de stabilisation, soit le renforcer, et cela sans compter la contribution des couples liés à la portance sur ses gouvernes.

Ensuite, si l'allure générale de la voiture, son arrière et la formation des tourbillons s'inspirent du poisson-coffre, il en va tout autrement du nez du véhicule, très arrondi, au contraire du museau pointu et anguleux du poisson. Une différence qui améliore considérablement la pénétration dans l'air et élimine les effets aérodynamiques déstabilisants. Moralité : de la nature tu t'inspireras, mais tu ne la copieras point ! ■

BIBLIOGRAPHIE

S. Van Wassenbergh *et al.*, Boxfish swimming paradox resolved : Forces by the flow of water around the body promote manoeuvrability, *J. R. Soc. Interface*, vol. 12, 20141146, 2015.

S. C. Farina et A. P. Summers, Biomechanics : Boxed up and ready to go, *Nature*, vol. 517, pp. 274-275, 2015.

I. K. Bartol *et al.*, Body-induced vortical flows : A common mechanism for self-corrective trimming control in boxfishes, *The Journal of Experimental Biology*, vol. 208, pp. 327-344, 2005.

Dans l'interêt de la science

mathieu vidard | la tête au carré 14:05-15:00

Intervenez
www.franceinter.fr