

DES TOURBILLONS pour mieux nager

Frank Fish et George Lauder

Poissons, dauphins ou méduses se propulsent dans l'eau avec aisance. Comment font-ils ? En visualisant les écoulements, les scientifiques révèlent les divers effets hydrodynamiques en jeu.

Un dauphin ou un poisson fend les flots vite et sans efforts apparents. Quels sont les secrets de la nage de ces animaux aquatiques ? Cette nage est soumise aux lois de l'hydrodynamique, qui dictent la façon dont l'eau s'écoule autour de l'animal et déterminent l'énergie requise au déplacement dans le fluide.

Or l'évolution a équipé les animaux aquatiques de moyens variés pour contrôler l'écoulement ambiant et celui qu'ils créent en se propulsant. Afin d'étudier ces étonnantes capacités des animaux nageurs et essayer de les transposer à des systèmes artificiels, nous nous sommes entourés de physiciens et d'ingénieurs. Comme nous le verrons, nos observations, notamment sur des poissons et des alligators, révèlent plusieurs effets hydrodynamiques mis à profit dans la nage des animaux.

Il y a encore 20 ans, on se contentait de penser l'écoulement autour d'un animal qui nage plutôt que de tenter de le visualiser. Comme il fallait simplifier, les représentations de l'interaction de l'animal avec l'écoulement reposaient sur quelques formes profilées et autres ailes artificielles aux surfaces ondulées ou lisses. Cependant, les nageurs réels présentent des formes

L'ESSENTIEL

■ **L'étude de la nage des animaux aquatiques nécessite de visualiser l'écoulement qu'ils créent autour d'eux.**

■ **Plus la poussée est importante et la traînée hydrodynamique réduite, plus la nage de l'animal est efficace.**

■ **La forme du corps mais aussi la structure fine de la peau influent sur les performances de la nage.**

■ **Les modes de propulsion sont variés, mais tous se traduisent par la production de jets de fluide et d'anneaux tourbillonnaires.**

variées et plus ou moins complexes. Leurs mouvements influencent donc la dynamique de l'écoulement de façons qui n'avaient pas été envisagées. En outre, l'étude de la nage est compliquée par le fait que les animaux changent de forme en se mouvant.

C'est pourquoi les biologistes se sont mis à étudier la nage des animaux en utilisant les mêmes techniques que celles développées par les ingénieurs pour visualiser les écoulements. Une méthode consiste à introduire du colorant à la surface du fluide ou dans le sillage d'un animal nageur, de façon à pouvoir enregistrer de façon continue les trajectoires suivies par les éléments de liquide (*voir la figure ci-contre*).

Visualiser les écoulements

Une autre méthode très utilisée est la vélocimétrie par images de particules. Elle consiste à mêler à l'écoulement de nombreuses petites particules réfléchissantes, éclairées dans un plan par un feuillet de lumière laser. En exploitant par ordinateur les images, enregistrées par des caméras rapides, on peut reconstituer les vitesses et directions de l'écoulement dans une



LES OMBRELLES PULSATILES des méduses envoient vers le bas des jets d'eau qui forment un sillage turbulent, visualisé ici à l'aide de colorants. L'agitation des eaux marines due aux mouvements des animaux nageurs contribuerait de façon notable au brassage des océans.

région bi- ou tridimensionnelle autour de l'animal. Une autre méthode encore consiste à visualiser une simulation informatique, réalisée à l'aide de programmes résolvant numériquement les équations de Navier-Stokes, c'est-à-dire les équations de la mécanique des fluides qui régissent l'écoulement de l'eau.

Méduses, poissons ou cétacés, tous les animaux nageurs se propulsent en créant une poussée à laquelle s'oppose une traînée, c'est-à-dire une résistance qu'oppose le fluide au mouvement. Lorsque la vitesse de nage est constante, la poussée et la traînée s'équilibrent. Pour nager vite ou diminuer son effort, un animal doit tendre à réduire la traînée et à augmenter la poussée. Lorsqu'un nageur déplace de l'eau, il lui transfère une partie de son énergie cinétique (l'énergie associée à son mouvement); par ailleurs, la traînée dissipe une partie de l'énergie cinétique de l'animal, ce qui le ralentit.

Poussée contre traînée

La traînée est produite par le frottement de l'eau sur le corps (traînée de frottement) et par la pression du fluide (traînée de forme). La traînée de frottement résulte de la friction entre la peau et la couche limite, la toute première couche de fluide proche de l'animal en mouvement. Au sein de cette couche, le comportement du fluide est dominé par sa résistance au glissement, c'est-à-dire par sa viscosité. Sous la couche limite, au contact immédiat de la surface de l'animal, cette résistance empêche le mouvement du fluide, qui reste immobile par rapport à la peau.

Tout se passe comme si la couche limite était un empilement de feuillets glissant d'autant plus les uns sur les autres qu'ils sont éloignés de la surface, exactement comme les cartes d'une pile que l'on pousse par la tranche glissent d'autant plus qu'elles sont éloignées de la table (la première restant immobile). Nommé cisaillement, ce type de déformation du fluide est dû au mouvement relatif de l'animal et du milieu dans lequel il se déplace. Ce cisaillement de la couche limite contribue aux pertes d'énergie liées à la traînée.

Le mucus présent sur le corps des poissons a pour effet de réduire la traînée due au frottement. Il est constitué d'un mélange de lipides et de protéines dont beaucoup forment de longues chaînes de molécules. Certaines de ces molécules sont

John Dabiri