



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.

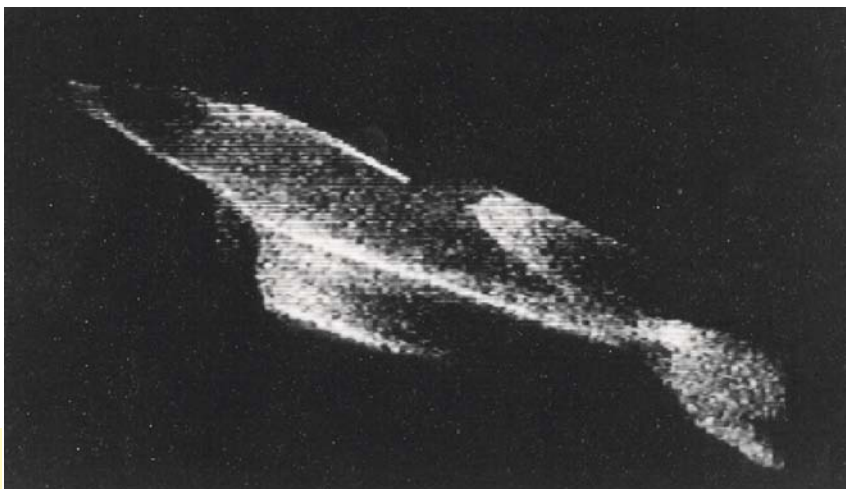
Poussée contre traînée

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



LA SILHOUETTE LUMINEUSE DE CE GRAND DAUPHIN (*Tursiops truncatus*) est créée par du plancton luminescent. L'intense cisaillement du fluide, aux endroits où il y a décollement de la « couche limite » de l'écoulement, provoque l'émission de lumière par le plancton. La micro-turbulence à l'origine de la luminescence est forte sur les bords des nageoires et dans le sillage.

Léonard de Vinci et le profil des poissons

L'observation de l'écoulement autour d'un animal aquatique remonte à Léonard de Vinci. Il fut le premier à identifier les avantages procurés au poisson par sa forme profilée. Il affirma que le poisson peut se déplacer dans l'eau sans rencontrer beaucoup de résistance – donc en ne développant qu'une faible traînée –, car grâce à sa forme, l'eau s'écoule plus régulièrement autour de lui.

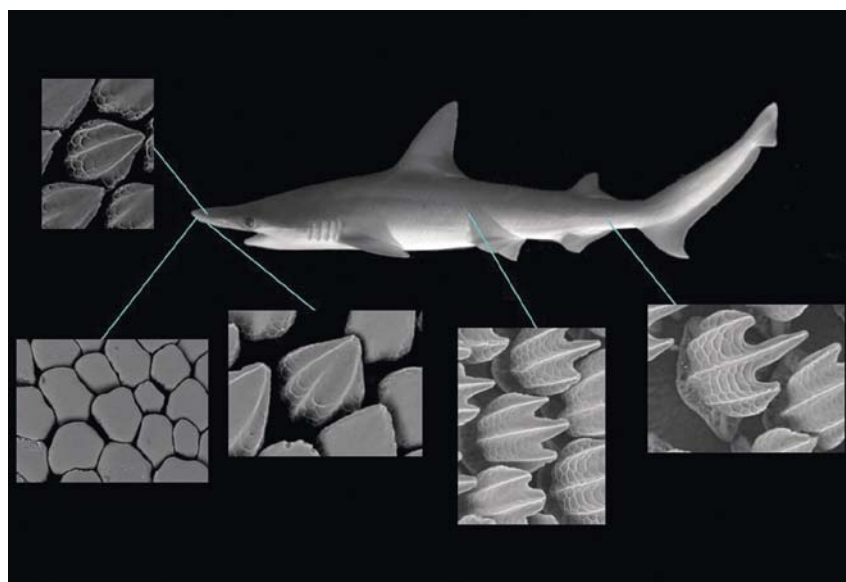
tensio-actives, c'est-à-dire qu'elles réduisent la tension superficielle du fluide. Or depuis la fin des années 1940, les ingénieurs navals ont établi que l'ajout à l'écoulement de solutions diluées de polymères à longues chaînes réduit efficacement la traînée de frottement. De même, le mucus enrobant le corps des poissons réduit la viscosité du fluide dans la couche limite. Par exemple, le mucus du barracuda (*Sphyrna argentea*), réduit de 66 % la traînée de frottement, de sorte que ce poisson est capable de pointer à 40 kilomètres par heure.

L'autre type de traînée, la traînée de forme, découle de la chute de pression entre l'avant et l'arrière du corps. Son origine se comprend aisément à l'aide du principe de Bernoulli. Publiée en 1738 par le Suisse Daniel Bernoulli, cette loi de l'hydrodynamique stipule que la pression et (le carré de) la vitesse varient en sens inverses l'une de l'autre : quand l'une augmente, l'autre diminue et *vice-versa*. Ainsi, là où le fluide entre en contact avec la partie antérieure du corps, l'écoulement ralentit et la pression augmente ; ce phénomène est facile à observer quand, assis dans un bateau, on plonge sa main dans l'eau.

Le fluide doit ensuite longer le corps. Il accélère et sa pression diminue, jusqu'à ce que le fluide atteigne l'arrière du corps. À cet endroit, la pression du fluide réaugmente, mais pas autant qu'elle avait augmenté à l'avant ; on a donc une différence de pression entre l'avant et l'arrière du corps, dont résulte la traînée de forme.

Empêcher le décollement de la couche limite

Plus le sillage est large, plus la traînée de forme est importante. Les sillages larges résultent d'une forte interaction des variations de pression avec la couche limite. Quand la couche limite a une énergie cinétique insuffisante, les changements de pression peuvent entraîner



LA FORME DES DENTICOLES D'UN REQUIN varie suivant l'endroit de la peau considéré, même si la structure rainurée à trois pointes est présente presque partout [ici des denticules d'un requin-marteau *tiburo*, *Sphyrna tiburo*, vus au microscope électronique]. Ces denticules réduisent la traînée hydrodynamique lors de la nage. Ils augmenteraient aussi la poussée de l'animal.