

Propulsion animale par ailes ou nageoires battantes

La plupart des insectes, des oiseaux et des poissons utilisent des ailes ou des nageoires battantes afin de se déplacer dans le fluide environnant. Le nombre de Strouhal permet d'évaluer leur performance propulsive : il est défini par le rapport entre la vitesse de battement de l'aile ou de la nageoire et la vitesse d'avancée de l'animal. Ce nombre varie peu dans la nature, et correspond à un rendement énergétique maximal [1,2]. Certains mécanismes par lesquels ces animaux sont capables de générer une force de propulsion peuvent être spectaculairement reproduits avec une expérience modèle simple [3].

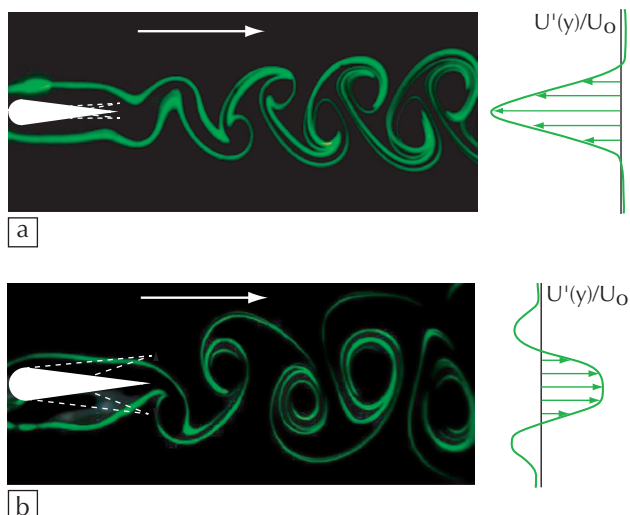
Un profil de nageoire symétrique est placé dans un écoulement d'eau, et mis en oscillation transversalement à l'écoulement. Lorsque la nageoire est fixe, une double-allée de tourbillons de sens de rotation alterné apparaît dans son sillage, appelée Allée de Bénard-Von Kàrmàn (fig. 1a). Dans cette configuration, les différents tourbillons émis induisent dans l'espace entre les deux rangées une vitesse dirigée en sens inverse de la vitesse moyenne globale du fluide. Le déficit de vitesse moyen qui en résulte est caractéristique de la production d'une force de traînée sur l'obstacle. Cependant, au-delà d'une amplitude seuil d'oscillation, le sens de rotation des tourbillons s'inverse par rapport au cas statique (fig. 1b). La vitesse induite par ces derniers entraîne cette fois un jet de même sens que la vitesse moyenne, signature de la production d'une force de propulsion ! Les valeurs du nombre de Strouhal dans cette situation coïncident avec la gamme de valeurs dans laquelle évoluent les animaux qui nagent ou volent.

De récentes expériences [4] ont montré que la flexibilité des profils de nageoires testés est essentielle pour la performance propulsive du système (rendement énergétique). La nageoire se déforme alors au cours du battement, en explorant des amplitudes effectives plus importantes que celles qui sont imposées. À chaque changement de direction d'oscillation, la courbure qu'adopte la nageoire facilite le passage du fluide alimentant le tourbillon naissant. Les tourbillons se forment donc plus rapidement, et sont éjectés dans le sillage avec une vitesse d'auto-advection plus importante que dans le cas d'une nageoire rigide. Ces effets optimisent la force de propulsion, laquelle est directement reliée à la dynamique instationnaire (instable dans le temps) du lâcher tourbillonnaire dans le sillage.

Ces expériences modèles simples, mais bien contrôlées, permettent ainsi aux physiciens de mieux comprendre les mécanismes de base par lesquels les animaux se propulsent. Le but ultime est de s'en inspirer pour optimiser les systèmes de propulsion artificiels [2].

Références

- [1] C. Eloy, "Optimal Strouhal number for swimming animals", arXiv:1102.0223 (février 2011).
- [2] E. Guyon *et al.*, *Ce que disent les fluides*, 2^e édition augmentée, Belin, 2010, pp. 90-91.
- [3] R. Godoy-Diana *et al.*, "Transitions in the wake of a flapping foil", *Phys. Rev. E* **77** (2008) 016308.
- [4] C. Marais, « Dynamique tourbillonnaire dans le sillage d'un aileron oscillant : propulsion par ailes battantes biomimétiques », thèse de doctorat de l'Université Paris Diderot (janvier 2011).



1. Champ de vitesse des tourbillons dans le sillage d'un obstacle en forme d'aile (situé à gauche des figures). La flèche indique le sens de l'écoulement du fluide. Dans la figure (a), l'obstacle est (presque) statique. Dans la figure (b), où l'obstacle oscille, les tourbillons tournent dans le sens opposé. Dans chaque figure, la partie droite montre le profil moyen de vitesse du fluide obtenu par imagerie laser (PIV, vélocimétrie par image de particules). On constate un déficit de la vitesse $U'(y)$ dans le premier cas, qui est cause d'une traînée. Au contraire, l'excédent de vitesse dans le second engendre une poussée responsable de la propulsion.

Contact

Catherine Marais (catherine.marais@espci.fr), **Ramiro Godoy-Diana** (ramiro@pmmh.espci.fr)
Physique et mécanique des milieux hétérogènes, UMR 7636 CNRS, ESPCI, 10 rue Vauquelin, 75231 Paris Cedex 5.