
Aerodynamics force estimates from flow field measurements in insect-inspired vibrating wings

Alexandre Dallot^{*1}, Marguerite De La Bigne^{2,3}, Eric Cattan⁴, Sébastien Grondel⁴, Olivier Thomas³, Vincent Stin^{1,5}, Benjamin Thiria¹, and Ramiro Godoy-Diana¹

¹Physique et mécanique des milieux hétérogènes (UMR 7636) – Ecole Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris, Sorbonne Université, Centre National de la Recherche Scientifique, Université Paris Cité, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR7636 – France

²Arts et Métiers ParisTech – IEMN, Polytechnique Hauts de France – France

³Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Physiques et Numériques – Arts et Métiers Sciences et Technologies – France

⁴Univ. Polytechnique Hauts-de-France, IEMN - Institut d'Électronique de Microélectronique et de Nanotechnologie, DOAE - Département d'Opto-Acousto-Électronique – CNRS : UMR8520 – France

⁵Mécanismes Adaptatifs et Evolution – Museum National d'Histoire Naturelle, Centre National de la Recherche Scientifique – France

Résumé

Cette étude présente une méthode permettant d'estimer les forces aérodynamiques produites par un prototype de Nano Véhicule Aérien (NAV) doté de deux ailes inspirées de celles des insectes. Le prototype, fabriqué par lithographie et doté d'une corde de 7,4 mm, est excité à sa fréquence de résonance (82,5 Hz). La méthode combine la vélocimétrie par images de particules (PIV) en 2D et un algorithme de calcul de pression. Ainsi, les champs de vitesse autour des ailes sont mesurés, ce qui permet de calculer les champs de pression et, finalement, d'estimer les forces locales et globales. À la résonance, des variations de pression de l'ordre d'un pascal sont mesurées, créant une composante propulsive maximale de $38,4 \times 10^3 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$, ce qui illustre l'efficacité de l'excitation résonante pour la génération de poussée. Le nombre de Reynolds est estimé à 470 et une pression de traînée théorique de 0,7 Pa confirme la pertinence des résultats de pressions obtenus.

Le dispositif expérimental comprend un excitateur vibrant, une caméra haute vitesse (5 500 images par seconde) et un laser pour visualiser l'écoulement d'airensemencé de particules d'huile. Les données sont traitées afin de masquer les reflets des ailes, d'améliorer le contraste et de calculer les champs de vitesse et de pression. Les forces locales, déduites des champs de pression, sont intégrées pour obtenir la force globale, bien que les résultats restent limités à une analyse en 2D (exprimée en $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$). Nous proposons ensuite d'étendre cette méthode à une analyse 3D, en synchronisant plusieurs plans 2D afin de reconstruire le champ de vitesse complet et ainsi calculer la force totale produite par l'aile. Il convient également de souligner la nécessité de mesures directes pour valider la méthode et d'algorithmes plus précis pour affiner les estimations.

En outre, ces travaux démontrent l'importance de la résonance élastique dans la propulsion par aile battante et ouvrent des perspectives pour les mesures indirectes des forces aérodynamiques créées par tout type d'ailes, avec un montage expérimental accessible.

*Intervenant