

Drag acting on articulated cylinders in pedalling motion : An experimental study towards data-driven modelling

Auteur : Pliez, Nathan

Promoteur(s) : Andrianne, Thomas

Faculté : Faculté des Sciences appliquées

Diplôme : Master en ingénieur civil en aérospatiale, à finalité spécialisée en "aerospace engineering"

Année académique : 2025-2026

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/26146>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Drag acting on articulated cylinders in pedalling motion : An experimental study towards data-driven modelling

Pliez Nathan

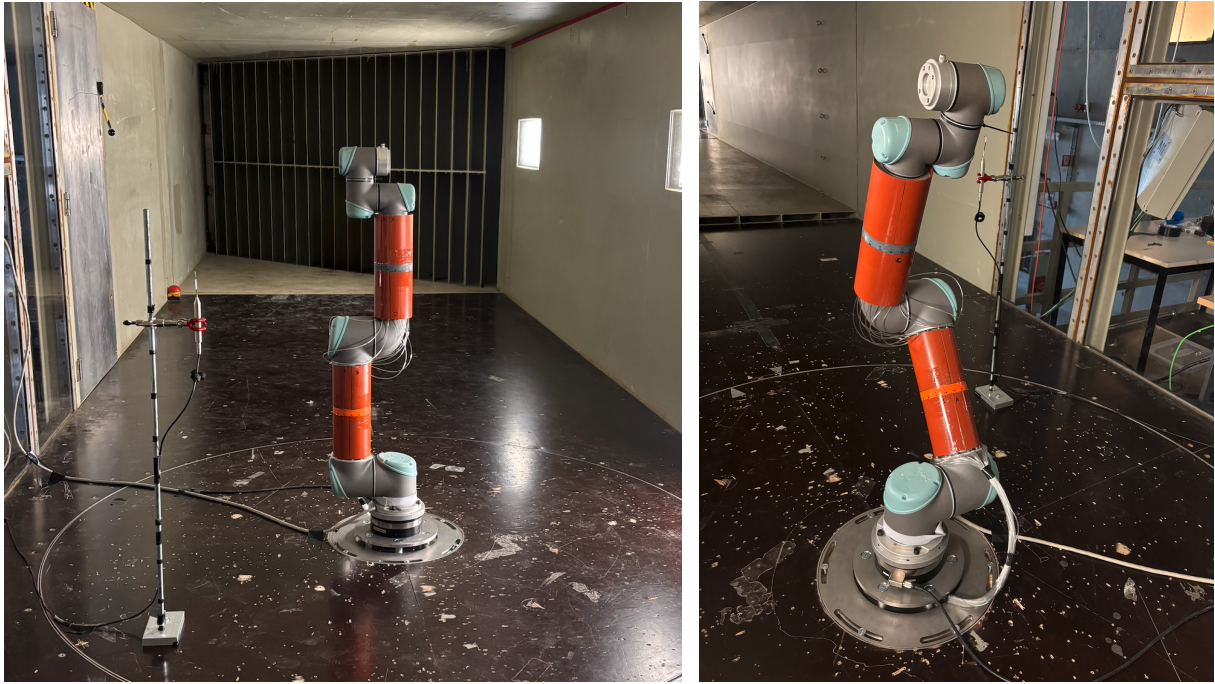
Thesis supervisor : Pr. Thomas Andrianne, *University of Liège*

In professional cycling, aerodynamic drag represents the dominant source of power loss. As margins between athletes continue to narrow, an accurate characterisation of the aerodynamic forces acting on a pedalling cyclist becomes increasingly relevant for performance optimisation. Yet the continuous motion of the legs generates complex unsteady flow structures that remain only partially understood, motivating the present study.

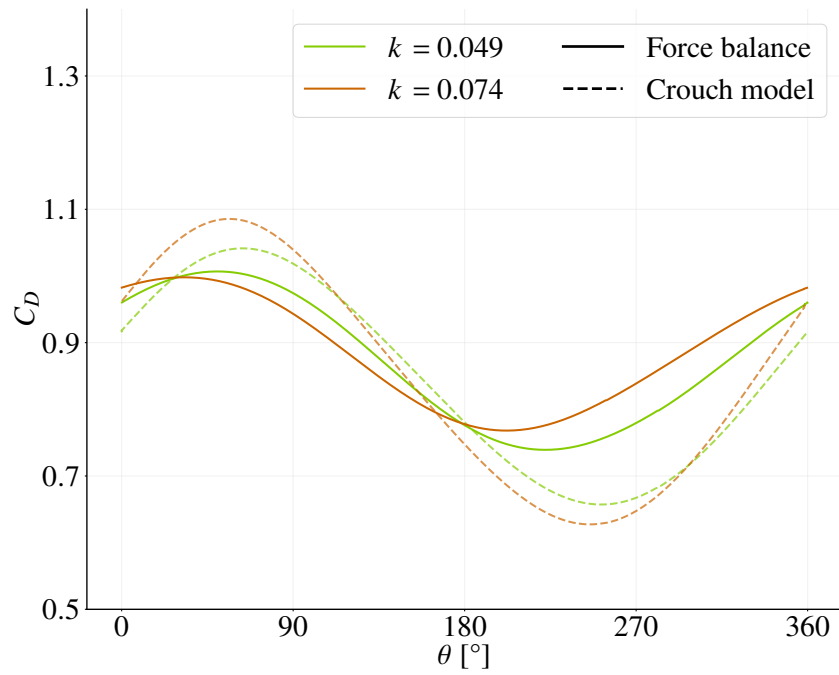
This thesis investigates the aerodynamic drag acting on articulated cylinders undergoing a pedalling-like motion, as a simplified representation of a cyclist's lower limb. Experiments are conducted in the wind tunnel of the University of Liège, where two circular cylinders mounted on a collaborative robot (UR5e) replicate the kinematics of the thigh and calf segments over a full crank cycle. A total of 110 configurations are tested, spanning a range of Reynolds numbers, reduced frequencies, motion amplitudes and yaw angles. Static measurements first characterise the pressure distribution and drag coefficient of the inclined cylinders, examining the validity of the Independence Principle. The results show that the cosine law holds for the lower (thigh) cylinder but breaks down for the upper (calf) cylinder due to three-dimensional end effects. Dynamic measurements then reveal that the instantaneous drag coefficient cannot be fully described by quasi-steady assumptions alone. A phase shift toward lower crank angles is observed as the reduced frequency increases, interpreted as a memory effect of the unsteady wake. Non-uniform cadence profiles are found to reduce the amplitude of drag fluctuations over a crank cycle, suggesting a potential aerodynamic benefit in long-duration efforts.

Two modelling approaches are evaluated. A quasi-steady moving-leg model captures the global drag behaviour with reasonable accuracy, but overestimates its amplitude at higher reduced frequencies. A two-stage data-driven model, combining an in-cycle Ridge regression with an out-of-cycle Gaussian Process regression, is developed and trained on the experimental dataset. While the framework captures the qualitative trend of the drag coefficient, its predictive performance remains limited by the high inter-dependency of the flow parameters and the relatively small size of the dataset.

This work establishes an experimental and modelling foundation toward the development of reduced-order aerodynamic models for pedalling cyclists, with potential applications in performance analysis and digital twinning of athletes.



Experimental the set-up.



Comparison quasi-steady model versus force balance measurements, $C_D(\theta, k)$