Physique des sports nautiques : Relation vitesse-fréquence et résistances actives

sujet proposé par : Rémi Carmigniani[(1)], Caroline Cohen[(2)] & Christophe Clanet[(2)]
(1) ENPC, (2) École Polytechnique
et mené en collaboration avec les **Fédérations Françaises d'Aviron et Natation**

5 novembre 2021

FIGURE 1 – (a) Course de kayak K1 femme (crédit : Photosport), (b) course d'aviron skiff femme (crédit : FFA), (c) course de natation (crédit : FX Marit)

Contexte

Une place sur un podium aux Jeux Olympiques se joue systématiquement à quelques centièmes de secondes. Pour maximiser les chances de médailles, tous les facteurs se doivent d'être optimisés. Dans cette thèse, nous nous concentrons sur les course en ligne de sports nautiques dit à "rames" : natation, aviron, canoë et kayak.

Cette thèse s'effectuera dans le cadre du projet national SCIENCES^{2024} qui est un projet collectif des sciences fondamentales (mécanique, physique, mathématiques) dédié à la résolution de problèmes identifiés avec les sportifs pour les accompagner dans leur quête de médailles aux Jeux Olympiques et Paralympiques de Paris 2024. Elle est co-encadrée par deux Écoles (l'École polytechnique et l'École des Ponts) et menée avec les Fédérations Françaises d'Aviron (FFA) et

de Natation (FFN). La thèse sera en lien avec deux Projets Prioritaires de Recherche (PPR) pour les sports de très hautes performances : ANR THPCA2024 et NePTUNE.

Descriptif du sujet

Ce sujet sur la physique des sports nautiques s'organise autour de 2 axes : l'étude de la relation vitesse-cadence et l'étude des résistances "actives".

Relation vitesse-fréquence

Dans ces trois disciplines, les athlètes utilisent une "rame" pour se déplacer proche de l'interface eau/air. En natation cette rame correspond à la main. Les propriétes de ces rames (tailles, masse apparente, bras de levier, surface effectives) peuvent être très différentes d'un sport à l'autre.

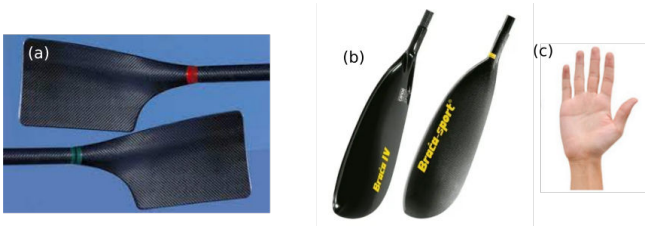

FIGURE 2 – Les différents pales de pagaies dans les sports à "rame".

Pour varier leur vitesse moyenne, les athlètes jouent principalement sur la vitesse d'exécution d'un mouvement périodique avec leurs rames. On parle de cadence. Plus la cadence est élevée plus la vitesse moyenne augmente dans un premier temps. Pour étudier cette relation en natation, les nageurs réalisent un test de 10×25 m progressif départ 3 minutes. On mesure la vitesse et la cadence à chaque passage.

La figure 3 montre l'évolution typique de la vitesse en fonction de la cadence dans deux sports nautiques. En natation, la vitesse évolue en racine de la cadence aux hautes vitesses [1]. Nous avons cherché à observer cette relation dans d'autres sports. En kayak la loi se rapproche d'une puissance un tiers [2]. En aviron et canoë, la loi reste à observer.

Une façon d'expliquer la différence entre la natation (1/2) et le kayak (1/3) est de comparer les ratios des surfaces effectives : la surface effective de la "coque" et celle de la "rame". En natation ce ratio est supérieur à 1 (le corps frotte plus que la main, la main recule), tandis qu'en kayak c'est l'inverse (la rame ne bouge presque pas dans l'eau par rapport à la coque).

L'objectif de cette partie est de raffiner notre compréhension [2, 1] de l'évolution de la vitesse avec la cadence et de la relier à la puissance fournie au niveau des rames pour avancer. A l'heure actuelle seules des mesures macroscopiques

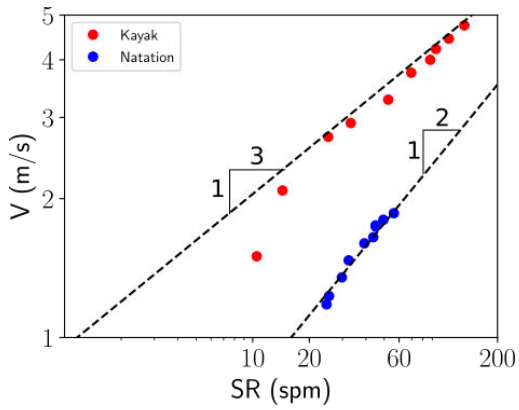

FIGURE 3 – Évolution de la vitesse en fonction de la fréquence en natation (bleu) et kayak (rouge).

(vitesse moyenne, cadence moyenne et force totale en nage attachée) ont été mesurées. Il s'agira pour la thèse de mesurer les forces dynamiques au niveau de la rame à l'aide de jauge de contrainte et la cinématique du mouvement à l'aide de centrale inertielle pour les différents sports. Les différentes rames seront également caractériser en étudiant leurs surfaces et masses effectives. Un modèle général sera proposer pour expliquer les différents régimes observés.

Étude des résistances "actives"

Pendant les phases actives, l'embarcation (la coque du bâteau, le corps du nageur) est soumise à des forces de résistance supplémentaire qui viennent en générale augmenter la résistance de l'embarcation passive. On parle de résistance active. Un exemple théorique clair de cette force de résistance supplémentaire se trouve dans la théorie de Lighthill [3] pour la nage en ondulation. Du fait de la déformation de son corps, le nageur en ondulation doit combattre en plus de la résistance passive de son corps non-déformé une force supplémentaire qui est également quadratique avec sa vitesse et dépend de la forme de son ondulation (deuxième terme du membre de droite).

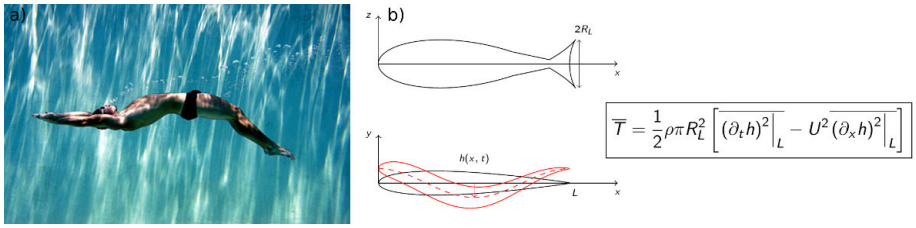

FIGURE 4 – a) Un nageur en ondulation. b) Théorie de Lighhill (1960).

L'objet de cette partie de la thèse sera de classifier et quantifier les différentes formes de résistances actives dans les sports à rame : résistance due à la déformation du corps, résistance due aux mouvements de tangage, roulis, pilonnement. En kayak, on peut donner un ordre de grandeur de cette résistance ajoutée en regardant l'évolution de la vitesse sur un départ arrêté. On trouve alors que la résistance active peut repéresenter une augmentation de 25% de la résistance d'une embarcation passive (voir fig.5).

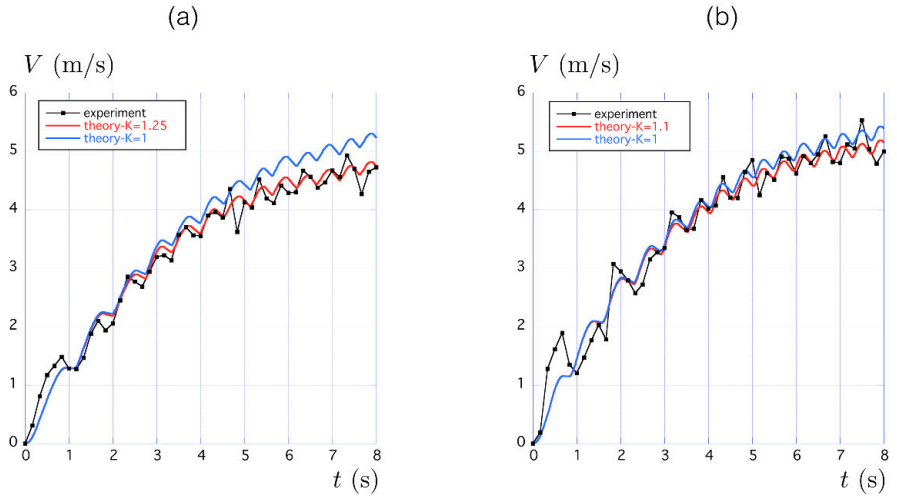

FIGURE 5 – Comparaison entre la vitesse mesurée expérimentalement et la vitesse théorique pour différent coefficient de traînée active pour deux kayakistes (Loup (a) et Augustin (b)).

Mots-clés : sports nautiques, hydrodynamisme, optimisation, mesures et modélisation

Chercheurs impliqués
Rémi Carmigniani, LHSV, remi.carmigniani@enpc.fr
Caroline Cohen, LadHyX, caroline.cohen@ladhyx.polytechnique.fr
Christophe Clanet, LadHyX, clanet@ladhyx.polytechnique.fr

Partenaires sportifs :
Hugo Maciejewski, référent scientifique de la FFA
Robin Pla, référent scientifique de la FFN

Profil du candidat cherché - compétences requises :
Le candidat devra avoir une solide formation en physique/mécanique, et si possible une expérience en recherche expérimentale en laboratoire. Des connaissances en électronique seraient un plus. Une bonne maitrise de l'anglais est nécessaire.

Date de début : dès janvier 2022

Contact : envoyer un CV et lettre de motivation à caroline.cohen@ladhyx.polytechnique.fr, clanet@ladhyx.polytechnique.fr et remi.carmigniani@enpc.fr.

Références

[1] R. Carmigniani, L. Seifert, D. Chollet, and C. Clanet. Coordination changes in front-crawl swimming. *Proc. R. Soc. A.*, 476 :20200071, 2020.

[2] R. Carmigniani, L. Hasbroucq, C. Prétot, R. Labbé, and C.Clanet. Physics of kayak sprints. *Proc. R. Soc. A.*, 476, submitted in 2021.

[3] MJ Lighthill. Note on the swimming of slender fish. *Journal of fluid Mechanics*, 9(2) :305–317, 1960.