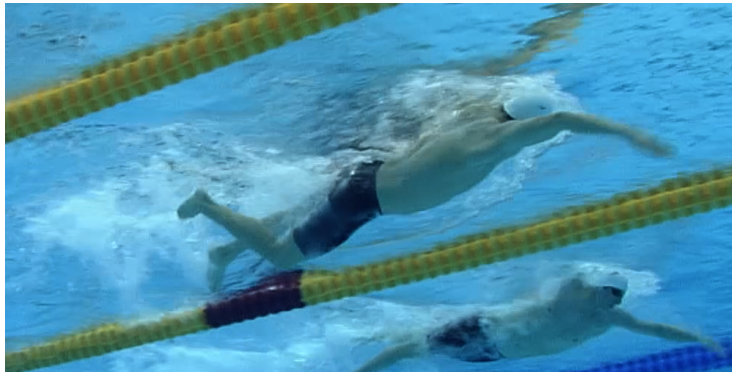


**Offre de stage :**  
Propulsion en Natation course :  
Étude des forces sur les membres supérieurs

Rémi Carmigniani, Mickaël Pruvost, Annie Colin & Christophe Clanet  
ENPC, ESPCI, École polytechnique  
Fédération Française de Natation

15 octobre 2020



## Contexte

En natation course, une place sur un podium aux Jeux Olympiques se joue systématiquement à quelques dixièmes de secondes. Pour maximiser les chances de médailles, tous les facteurs se doivent d'être optimisés. Dans ce stage, nous nous concentrons sur les forces de propulsions générées par l'avant bras du nageur.

Ce stage s'effectuera dans le cadre du projet national Sciences<sup>2024</sup> 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 trois Écoles (l'École des Ponts ParisTech, l'École Supérieure de Physique et de Chimie) et menée avec la Fédération Française de Natation (FFN).

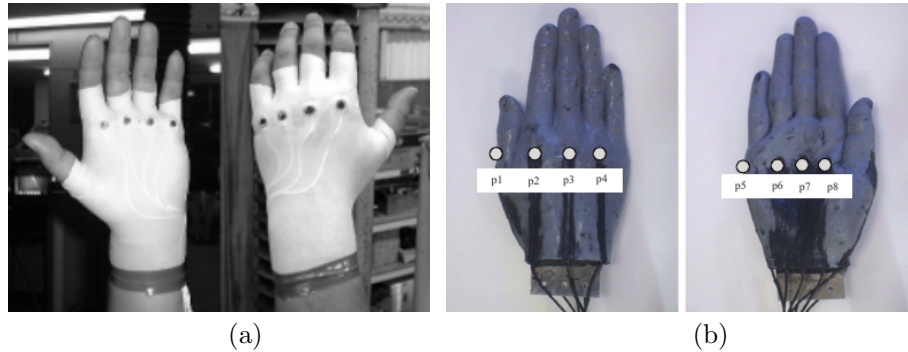


FIGURE 1 – Exemple de mains équipées de capteurs de pressions : (a) main d’un nageur [4], (b) main imprimé en 3D [5].

## Descriptif du sujet

Ce sujet vise à développer un système pour mesurer les forces de propulsions en natation en instationnaire.

L’analyse de la dynamique de la natation, et donc son optimisation, est très complexe en condition de nage. Il est difficile de mesurer correctement les forces résistives (dite de traînée active) et propulsives sur un nageur. Contrairement aux autres sports nautiques de vitesse comme l’aviron, la canoë ou le kayak, le nageur est à la fois la coque et la rame. Il n’est pas possible de dissocier l’un de l’autre pour l’optimisation. La mesure des forces propulsives en régime permanent n’est souvent qu’estimée. On peut par exemple mesurer la force qu’un nageur peut produire en statique (sans certitude que ce soit transférable en condition de nage) [1], mesurer la perturbation de vitesse en ajoutant une résistance connue (dite méthode de Kolmogorov) en supposant que la puissance se conserve (hypothèse discutable) [2], mesurer la force résiduelle dans un bassin à contre courant [3], . . .Aucune ne donne d’informations sur la force de propulsion en instationnaire en condition de nage.

Dès les années 1970, Belokovsky [6] et Manen et Rijken [7] ont fixé de capteurs de pression sur la face palmaire de la main afin d’obtenir des informations sur la force de propulsion instantannée des bras. Le nombre de capteurs de pression utilisés sur la main a ensuite augmenté mais varie de 4 pour [8] à 12 pour [9] pour la main uniquement. Takagi et Sanders [4] ont appliqué cette méthode en nage à contre courant en équipant le nageur de gants serts de 8 capteurs de pression autour de la main (voir points dans figure 1-(a)). Ils se sont ensuite concentrés sur des bras robotiques [5, 10] où la cinématique était connue en couplant leur mesure de pression à de l’analyse de l’écoulement par PIV. Les pressions mesurées sont de l’ordre de  $\pm 1000$  Pa.

Toussaint *et al.* [11] ont équipé également le coude et l’épaule de nageurs en bassin. Ces mesures de pressions doivent être couplées avec des mesures cinématiques pour connaître à chaque instant l’orientation de la main et du bras.

Ces mesures par champs de pression ont également été appliquées à l'étude du rétro-pédalage en water polo [12] et aux ciseaux de brasse [13]. Dans aucun cas, le cisaillement n'a été évalué.

L'objectif de ce stage de 6 mois est de développer un modèle d'avant bras de nageur équipé de capteurs de pression, de cisaillement et de gyroscopes afin d'évaluer les efforts locaux et globaux sur un mouvement simple de rotation et de capturer la cinématique. Les mesures seront validées en mesurant les efforts totaux s'appliquant sur l'axe de rotation du bras. Le stage sera organisé en deux parties :

1. durant les 3 premiers mois, le stagiaire apprendra à concevoir et calibrer des capteurs de pression et de cisaillement et à les tester dans l'eau à l'ESPCI,
2. durant les 3 derniers mois, le stagiaire équipera un bras imprimé en 3D à l'échelle 1 de ces capteurs ainsi que d'IMU (accéléromètre et gyroscope) et testera la mesure sur un mouvement de rotation simple dans un canal de Chatou. L'axe de rotation sera équipé d'un capteur de force 2 axes afin de valider les mesures.

**Mots-clés :** natation, propulsion, pression, cisaillement, gyroscope, mesures et modélisation.

#### **Chercheurs impliqués**

Rémi Carmigniani, LHSV, remi.carmigniani@enpc.fr  
Michaël Pruvost, SIMM/LBC, mickael.pruvost@espci.psl.eu  
Annie Colin, SIMM, annie.colin@espci.psl.eu  
Christophe Clanet, LadHyX, clanet@ladhyx.polytechnique.fr

#### **Référents sportifs :**

Robin Pla, Conseiller Technique National de la FFN

#### **Profil du candidat recherché - 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 et des notions d'usinage seraient un plus. Une bonne maîtrise de l'anglais est nécessaire.

**Date de début :** dès décembre 2020

**Contact :** envoyer un CV et lettre de motivation aux chercheurs impliqués

## **Références**

- [1] P. Morouço, K. Lasse Keskinen, J. P. Vilas-Boas, and R. Fernandes. Relationship between tethered forces and the four swimming techniques performance. *Journal of applied biomechanics*, 27 :161–9, 05 2011.

- [2] S.V. Kolmogorov and O.A. Duplishcheva. Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity. *Journal of Biomechanics*, 25(3) :311 – 318, 1992.
- [3] H. Takagi, Y. Shimizu, and N. Kodan. A hydrodynamic study of active drag in swimming. *JSME International Journal Series B*, 42, 05 1999.
- [4] H. Takagi and R. Sanders. *Measurement of propulsion by the hand during competitive swimming*, volume 4, pages 631–637. 01 2002.
- [5] H. Takagi, M. Nakashima, T. Ozaki, and K. Matsuuchi. Unsteady hydrodynamic forces acting on a robotic hand and its flow field. *Journal of Biomechanics*, 46(11) :1825 – 1832, 2013.
- [6] V. V. Belokovsky. An analysis of pulling motions in the crawl arm stroke. *First International Symposium on "Biomechanics and Swimming, Water-polo and Diving", 14-16 September 1970. Proceedings*, pages 217–221, 1971.
- [7] Rijken H. van Manen, J. D. Dynamic measurement techniques on swimming bodies at the netherlands ship model basin. *Swimming II : Proceedings of the Second International Symposium on Biomechanics in Swimming, Brussels, Belgium*, pages 70–79, 1975.
- [8] H. Takagi and B. Wilson. Calculating hydrodynamic force by using pressure differences in swimming. *Biomechanics and Medicine in Swimming*, 8 :101–106, 12 1999.
- [9] S. Kudo, T. Yanai, B. Wilson, H. Takagi, and R. Vennell. Prediction of fluid forces acting on a hand model in unsteady flow conditions. *Journal of Biomechanics*, 41(5) :1131 – 1136, 2008.
- [10] H. Takagi, M. Nakashima, T. Ozaki, and K. Matsuuchi. Unsteady hydrodynamic forces acting on a robotic arm and its flow field : Application to the crawl stroke. *Journal of Biomechanics*, 47(6) :1401 – 1408, 2014.
- [11] H. Toussaint, C. Berg, and W. Beek. "pumped-up propulsion" during front crawl swimming. *Medicine and science in sports and exercise*, 34 :314–9, 03 2002.
- [12] E. Kawai, T. Tsunokawa, H. Sakaue, and H. Takagi. Propulsive forces on water polo players' feet from eggbeater kicking estimated by pressure distribution analysis. *Sports Biomechanics*, 0(0) :1–15, 2020. PMID : 32746722.
- [13] T. Tsunokawa, M. Nakashima, and H. Takagi. Use of pressure distribution analysis to estimate fluid forces around a foot during breaststroke kicking. *Sports Engineering*, 18 :156, 03 2015.