

# RELATIONS FRÉQUENCE-VITESSE EN NATATION

**Author:** Charlie Prétot<sup>1</sup> [charlie.pretot@polytechnique.edu](mailto:charlie.pretot@polytechnique.edu)  
**Co-auteur:** Mathias Mercadal, Thomas Brunel, Baptiste Bolon, Christophe Clanet, Rémi Carmigniani<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> Ecole des Ponts

Conférence Sciences<sup>2024</sup>: saison 2021

<https://sciences2024.polytechnique.fr>

May 28, 2021

**Mots clés:** coordination, efficacité, propulsion

## 1 Introduction

On analyse les profils fréquence-vitesse des nageurs dans les 4 techniques de nage olympiques (papillon, dos, brasse et crawl). Pour l'ensemble des nages, on montre dans un premier temps l'existence de deux régimes déjà étudiés en crawl [1] puis on discute leur traduction en terme d'allure de courbe fréquence-vitesse, en soulignant la spécificité de la brasse.

## 2 Dispositif expérimental

- Pour chaque nageur, la relation fréquence-vitesse est établie grâce à un test de 10 x 25 mètres progressif (du plus lent au plus rapide) dans sa technique de nage de prédilection. Le départ de chaque 25 mètres est donné toutes les 3 minutes.
- Les nageurs sont équipés de centrales inertielles et d'un dispositif de mesure de la vitesse instantanée
- Pour dresser le profil fréquence-vitesse, on moyenne la vitesse et la fréquence afin d'obtenir une fréquence et une vitesse pour chaque 25 mètres.

## 3 Résultats obtenus

Un exemple représentatif d'évolution de la vitesse avec la fréquence est présenté sur la figure 1 pour les 4 nages. Dans les trois techniques de nage avec retour aérien (papillon (a), dos(b), crawl(d)), l'évolution de la vitesse est la même : la vitesse augmente linéairement avec la fréquence aux basses cadences. Aux hautes cadences, la vitesse augmente toujours, mais de manière non linéaire. Pour la brasse (d), le résultat est différent : aux basses fréquences, le comportement n'est pas linéaire alors qu'aux hautes fréquences, on tend vers une vitesse limite.

## 4 Modèle pour les nages avec retour aérien

La théorie des deux régimes présentée en détail dans [1] n'a pas encore été traduite en une relation fréquence-vitesse. On présente ici ce modèle afin de décrire les observations présentées sur la figure 1.

Dans l'équation 1a, on écrit l'équilibre entre force de

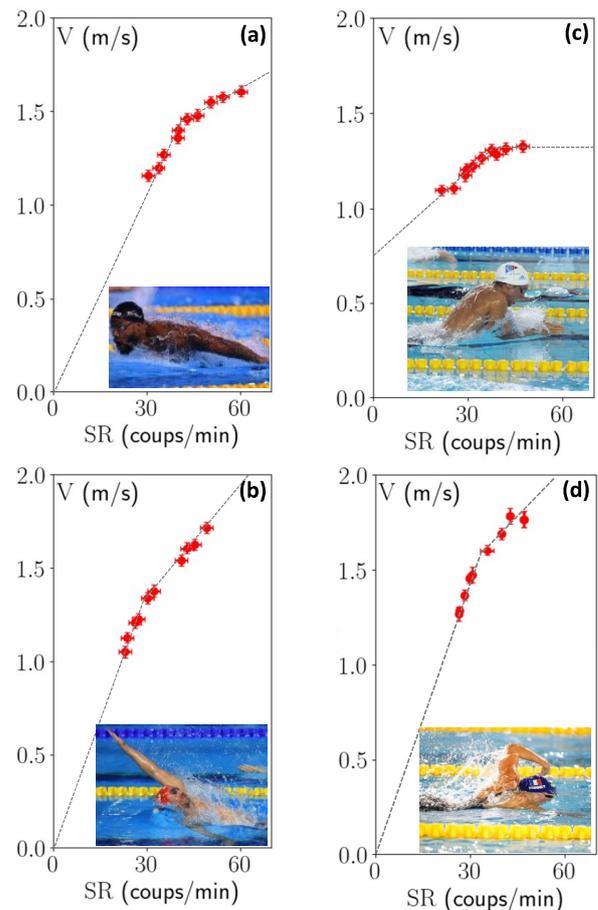


Figure 1: Profil fréquence-vitesse typique suivant la nage.

(a) papillon (b) dos (c) brasse (d) crawl.

propulsion et force de trainée moyennes.  $t_P$  est le temps de propulsion d'une main,  $T$  est la période d'un cycle complet.  $F_P$  est la force de propulsion moyenne pendant la phase de propulsion. On note  $V$  la vitesse moyenne du nageur et  $(SC_D)_C$  sa surface hydrodynamique.

$$\frac{2t_P}{T} F_P = k_C V^2, \quad (1a)$$

$$k_C = \frac{1}{2} \rho_{eau} (SC_D)_C. \quad (1b)$$

Dans l'équation 2a, on modélise la force de propulsion comme une simple trainée exercée sur la main.  $v_{M/C}$  est la vitesse de la main par rapport au centre de masse du nageur. Elle parcourt une distance  $C_M$  pendant la durée de la propulsion  $t_P$ .  $(SC_D)_M$  est la surface hydrodynamique propulsive d'un bras.

$$F_P = k_M(v_{M/C} - V)^2, \quad (2a)$$

$$k_M = \frac{1}{2}\rho_{eau}(SC_D)_M, \quad (2b)$$

$$v_{M/C} = \frac{C_M}{t_P}. \quad (2c)$$

#### 4.1 Premier régime

Aux basses fréquences, le nageur cherche à minimiser son énergie. Il augmente progressivement sa force de propulsion moyenne par cycle, en gardant une proportion temps de propulsion,  $t_P$ , versus temps de cycle,  $T$ , inchangée. On fait également l'hypothèse  $v_{M/C} \gg V$ . Les équations 3a sont obtenues en appliquant ces hypothèses aux équations 1a et 2a. La vitesse  $V$  augmente linéairement en la fréquence  $SR$ , ce qui se traduit par une distance par cycle constante  $SL_0$  (equation 3a).

$$V = SL_0 \cdot SR, \quad (3a)$$

$$SL_0 = \sqrt{\frac{k_M T}{2t_P k_C}} 2C_M. \quad (3b)$$

#### 4.2 Second régime

On change de régime quand la force maximale ( $F_{Max}$ ) est atteinte. Le nageur doit changer de stratégie pour augmenter sa fréquence. Le temps de propulsion restant à peu près constant, la seule solution pour augmenter la fréquence est d'accélérer le retour aérien et de limiter le temps de glisse. Le rapport  $\frac{t_P}{T}$  est donc modifié. En écrivant les équations 1a et 2a avec une force de propulsion constante égale à  $F_{Max}$ , on obtient l'équation 4a. Cette équation fait apparaître un paramètre constant, l'indice de nage ( $IdN$ ).

$$V = \sqrt{IdN \cdot SR}, \quad (4a)$$

$$IdN = \frac{2C_M}{k_C} \sqrt{F_{Max} k_M}. \quad (4b)$$

Pour la brasse, ce modèle ne fonctionne pas en raison du retour aquatique. Une augmentation du temps de retour génère une augmentation de la trainée.

#### 4.3 Comparaison modèle - expérience

On applique la théorie des deux régimes sur la courbe expérimentale du 10 x 25 mètres sur la figure 2. Il s'agit d'un nageur de crawl.

La théorie rend compte des observations pour tous les nageurs qui ont suivi ce protocole (environ 20 sujets, une seule exception). Des écarts au modèle peuvent

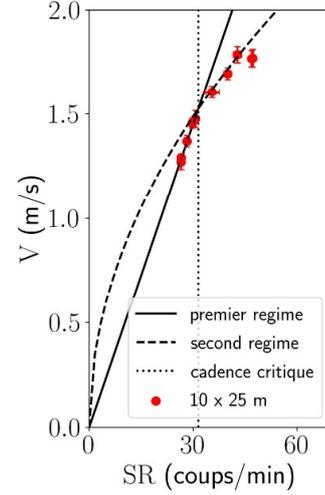


Figure 2: Comparaison modèle - expérience

se produire sur les derniers 25 mètres (c'est le cas du dernier point sur la figure 2). Il s'agit souvent des athlètes qui sont moins performants en sprint.

## 5 Conclusion et perspectives

Expérimentalement, nous montrons qu'il existe deux types de relation fréquence-vitesse, qui distinguent les nages avec retour aérien (crawl, dos, papillon) des nages avec retour aquatique (brasse). Pour les nages avec retour aérien, le modèle à deux régimes est capable de rendre compte des observations puisque les deux régimes apparaissent sur la quasi-totalité des nageurs testés (19 sur 20). Il reste toutefois deux points principaux à traiter

- Utilisation de capteurs EMG de surface afin de valider que la force de propulsion est constante dans le second régime.
- Recherche d'un modèle qui explique le comportement des nages avec retour aquatique (brasse)

## 6 Remerciements

Ce projet a bénéficié du soutien de la Fondation EDF pour la partie théorique et de l'ANR-STHP-0004-NePTUNE. Nous tenons tout d'abord à remercier Robin Pla et David Simbana qui ont grandement facilité les échanges avec les athlètes de la FFN, ainsi que Sami El Gueddari pour les échanges avec la FFH. Un grand merci également à Jauffrey Dussert pour l'accès très privilégié à la piscine de l'Ecole polytechnique. Nous remercions Erwan Delhaye et Nicolas Bideau, ainsi que les membres du consortium NePTUNE qui ont participé de près ou de loin à cette étude. Nous tenons à remercier Khalil Beltaïfa pour sa contribution au projet. Enfin, nous remercions l'ensemble des nageurs ayant participé aux expériences.

## References

- [1] R. Carmigniani L. Seifert, D. Chollet and C. Clanet. Coordination changes in front-crawl swimming. *The Royal Society*, 476, 2020.