

Introduction et observations

Dans le documentaire diffusé par Arte *Secrets d'Athlètes - La natation* [1] on peut observer les stratégies de coulée de deux nageurs américains : Michael Phelps (100m et 200m) et Peter Vanderkaay (200m et 400m). Nous avons reconstitué une chronographie de leurs trajectoires figure 2. On observe un comportement très différent pour les deux coulées. Alors que Michael Phelps "plonge" et se propulse en prenant une trajectoire "parabolique" longue d'environ 13m (qui lui permet d'ailleurs de battre le record du monde du 200m nage libre en 2007), Peter Vanderkaay pousse contre le mur avec un angle θ_0 quasiment nul et remonte très rapidement à la surface en perdant de la vitesse. Pourquoi ces trajectoires très différentes ? Nous proposons ici un modèle pour expliquer ces deux choix de coulée en lien avec le niveau du nageur en ondulation.

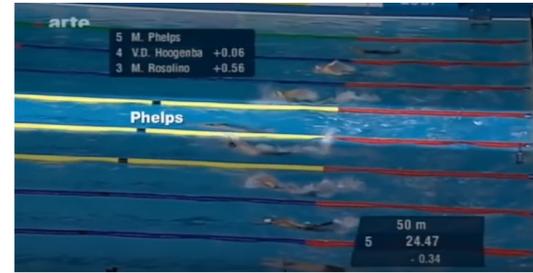


Fig. 1: 200m nage libre, Mondiaux 2007 - Secrets d'Athlètes - Arte

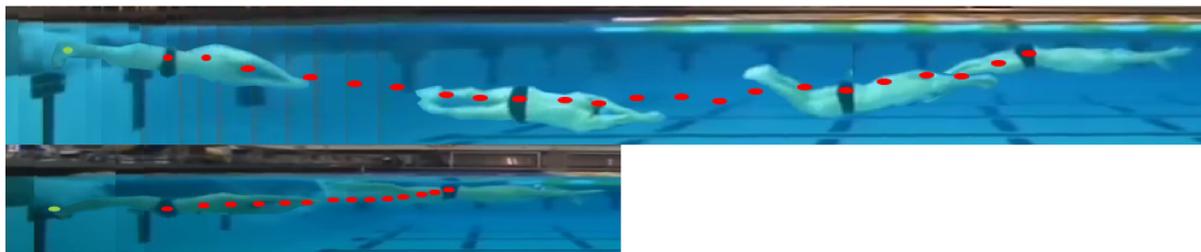


Fig. 2: Comparaison des trajectoires de M.Phelps et P.Vanderkaay - Timelapse corrigé

Modèle simplifié

On considère le nageur comme une plaque se déplaçant à une vitesse \vec{v} qui lui est colinéaire. Cette vitesse entraîne une résistance à l'avancement de la forme $\vec{F}_{res} = -k(y, v, F_{prop}) \|\vec{v}\|\vec{v}$. Le nageur a la possibilité de se propulser avec une force \vec{F}_{prop} variable :

$$\begin{cases} \vec{F}_{prop} = F_{uw}(\cos \beta \vec{e}_x + \sin \beta \vec{e}_y) & \text{si } y < 0 \text{ (en coulée)} \\ \vec{F}_{prop} = F_s \vec{e}_x & \text{si } y = 0 \text{ (à la surface)} \end{cases}$$

avec $|\beta| \leq \beta_{max}$.

Il peut aussi faire varier la poussée d'Archimède qui s'exerce sur lui en jouant sur le volume d'air de ses poumons.

Enfin, il peut faire varier l'angle de ses mains pour ajouter de la portance et donc remonter plus rapidement à la surface :

$$\vec{F}_{mains} = -\frac{1}{2} \rho S v [(C_d(\alpha) \dot{x} + C_l(\alpha) \dot{y}) \vec{e}_x + (-C_l(\alpha) \dot{x} + C_d(\alpha) \dot{y}) \vec{e}_y]$$

où α est l'angle entre le corps et les mains et C_d et C_l sont les coefficients de traînée et de portance pour une plaque placée dans un écoulement avec un angle d'incidence θ [6]

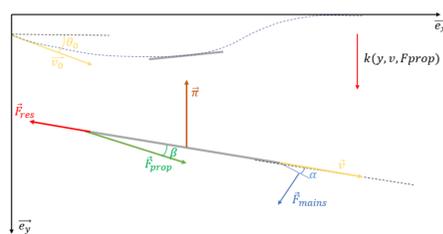


Fig. 3: Schéma des forces dans le modèle simplifié du nageur

Résistance à l'avancement

Le coefficient k présent dans la définition de la résistance à l'avancement dépend de la profondeur et de la phase de coulée : glisse en position flèche [4], propulsion sous l'eau [5] ou nage à la surface [2]. Nous faisons ici l'hypothèse que k ne dépend pas de la vitesse. Même si cela n'est pas vrai, notamment proche de la surface à cause des vagues, la vitesse moyenne est généralement proche de la vitesse expérimentale utilisée pour déterminer k (2.2 m.s^{-1}).

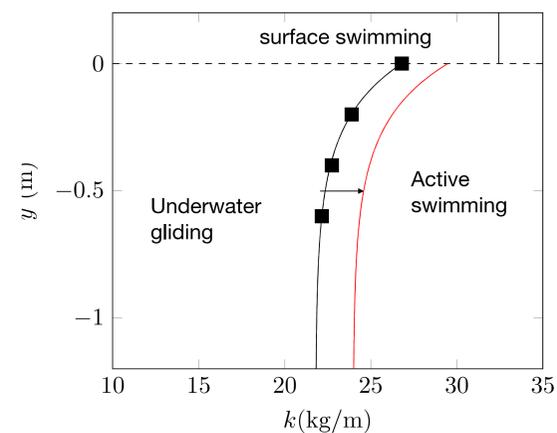


Fig. 4: Coefficient de traînée k en fonction de la profondeur

Résultats

En utilisant le logiciel d'optimisation BOCOP [3], on obtient la trajectoire optimale selon les caractéristiques de l'athlète. Le paramètre principal que l'on peut faire varier est le niveau en coulée du nageur, ou autrement dit, le rapport entre la vitesse du nageur sous l'eau et à la surface $V_{ad} = \frac{V_{\infty,prop}}{V_{\infty,nage}}$:

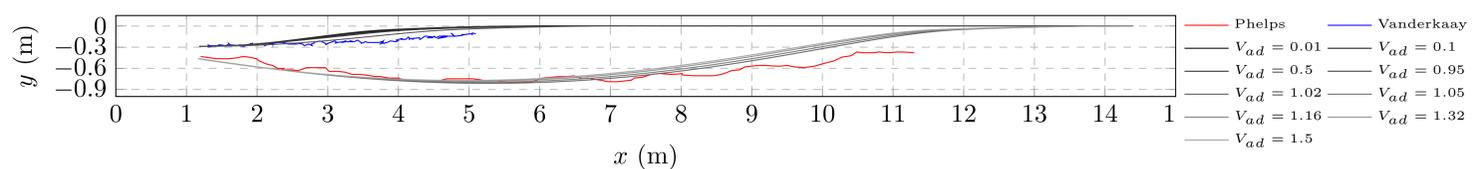


Fig. 5: Trajectoire optimale en fonction du rapport des vitesses

Discussions

Notre modèle prédit deux stratégies différentes qui dépendent du niveau de coulée. Lorsque $V_{ad} < 1.05$ le nageur pousse au mur avec un angle nul et ressort de l'eau rapidement. Lorsque $V_{ad} \geq 1.05$ le nageur pousse au mur avec un angle de 8° (optimum pour $V_{ad} \geq 1.05$ sur la figure 7), nage en profondeur et remonte à la surface aux alentours de 12m.

Sur la figure 6, on observe que pour les deux stratégies le temps peut être approximé par une loi linéaire de la vitesse (pour la gamme de rapport des vitesses des nageurs). Les coefficients directeurs étant différents la stratégie 1 est meilleure pour un rapport des vitesses faibles alors que la stratégie 2 est meilleure pour une grande vitesse de propulsion.

On peut finalement comparer les deux stratégies trouvées aux stratégies utilisées par Peter Vanderkaay et Michael Phelps.

P.Vanderkaay ne se propulsant que très peu sous l'eau, son rapport des vitesses est faible et on observe que sa trajectoire correspond bien avec la stratégie 1.

M.Phelps qui possède une très bonne technique de propulsion sous l'eau, entraînant un rapport des vitesses supérieur à 1.10 est proche de la stratégie 2.

Les trajectoires trouvées semblent donc proches de la réalité et il est intéressant de noter que seules deux trajectoires sont optimales. Nous pourrions donc déterminer pour un nageur laquelle de ces deux stratégies est la meilleure pour lui en fonction de ses caractéristiques.

Finalement, pour améliorer le modèle nous travaillons sur une loi plus précise de k à l'aide d'une méthode CFD.

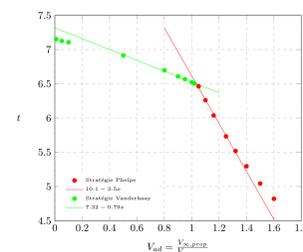


Fig. 6: Temps optimal en fonction de V_{ad} et de la stratégie : P.Vanderkaay (vert), M.Phelps (rouge)

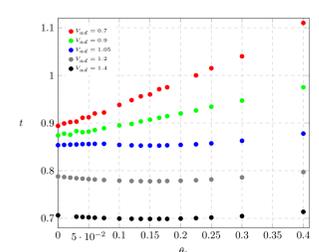


Fig. 7: Temps optimal en fonction de l'angle initial θ_0 à différentes vitesses

Références

- [1] Arte. "Secrets d'Athlètes". In: *La natation* (Apr. 2017).
- [2] Bulgakova and Makarenko. In: (1996).
- [3] <https://www.bocop.org/>.
- [4] Andrew Lytle. "The effect of depth and velocity on drag during the streamlined glide". In: (Jan. 1998).
- [5] M.J.Lighthill. "Note on the swimming of slender fish". In: (May 1960).
- [6] D Morgoch and S Tullis. "Force analysis of a sprint canoe blade". In: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology* 225 (Dec. 2011), pp. 253–258.