



L'ESSENTIEL

- Au plus haut niveau, les performances d'un nageur dépendent de son habileté technique.
- Le mécanisme de propulsion du nageur fait encore l'objet de débats.
- Tourbillons, traînée, portance, frottements, vagues, turbulences : nombre de facteurs influent sur la vitesse du nageur. Lequel prédomine ?
- Pour le savoir, physiciens et ingénieurs décortiquent chaque mouvement des athlètes à l'aide de capteurs et de simulations numériques.

© Steve Christou/Steve Christou/Corbis

La natation est l'un des sports les plus populaires au monde. Lors des dernières Olympiades de Londres, des athlètes des cinq continents ont remporté 34 médailles d'or, et leurs performances ont captivé des centaines de millions de téléspectateurs. Et dès le 19 juillet prochain, à Barcelone, 2 500 athlètes issus de 180 pays tenteront leur chance lors de la 15^e édition du championnat du monde de natation. Si un tel engouement entoure ce sport, c'est peut-être parce qu'il requiert non seulement des qualités physiques exceptionnelles, mais aussi une technique raffinée. Les nageurs se soumettent à des entraînements exigeants : un athlète de haut niveau parcourt en moyenne 15 kilomètres par jour, répartis sur deux sessions, et suit un programme de préparation poussée. Néanmoins, sa résistance physique est inutile si elle ne s'accompagne pas d'une maîtrise parfaite de chaque geste.

La traînée, frein et propulseur

La science et la technologie s'intéressent depuis des années aux mouvements des nageurs et contribuent à l'amélioration de leurs performances. Cette synergie n'a rien d'étonnant, si l'on songe qu'une victoire ou une défaite se jouent à quelques centièmes de seconde. Nous brosserons ici un panorama des lois physiques qui peuvent s'appliquer à la natation, des théories proposées pour décrire le mode de propulsion du nageur et des techniques employées dans les centres de recherche les plus avancés. Ce qui pourrait sembler à première vue un mécanisme simple est en réalité un casse-tête passionnant, que maints chercheurs tentent de résoudre.

Aussi surprenant que cela puisse paraître, aucune théorie ne fait l'unanimité parmi les scientifiques pour expliquer le mécanisme propulsif des nageurs, c'est-à-dire la façon dont ils avancent dans l'eau. Pourtant, le mouvement des corps immergés est régi par des lois connues depuis des siècles (le principe d'action-réaction de Newton, le théorème de Bernoulli, au fondement de la mécanique des fluides, les équations de Navier-Stokes, qui décrivent l'écoulement des fluides, ou le théorème de Kutta-Joukowski, fondamental en aérodynamique), voire depuis des millénaires dans le cas de la poussée d'Archimède. Toute la difficulté est

Nunzio Lanotte et Sophie Lem

Le corps humain est de forme si peu régulière que l'explication physique de la propulsion d'un nageur fait toujours débat. Traînée, portance, tourbillons, etc. : plusieurs mécanismes distincts seraient en jeu.

TRAÎNÉE, PORTANCE ET COUCHE LIMITE

Pour comprendre comment un nageur se propulse dans l'eau, il faut prendre en compte l'ensemble des forces exercées par l'eau sur le corps en mouvement. La somme – ou plus exactement l'intégrale de ces forces, nommée résultante des forces hydrodynamiques – présente deux composantes, l'une parallèle à la vitesse du corps, mais orientée dans le sens contraire, dite traînée ou résistance, l'autre dans n'importe quelle direction du plan perpendiculaire à la traînée, dite portance. Dans le cas d'une barque motorisée, par exemple, c'est la portance exercée sur les pales qui produit une poussée parallèle à l'axe de rotation de l'hélice et fait avancer l'embarcation.

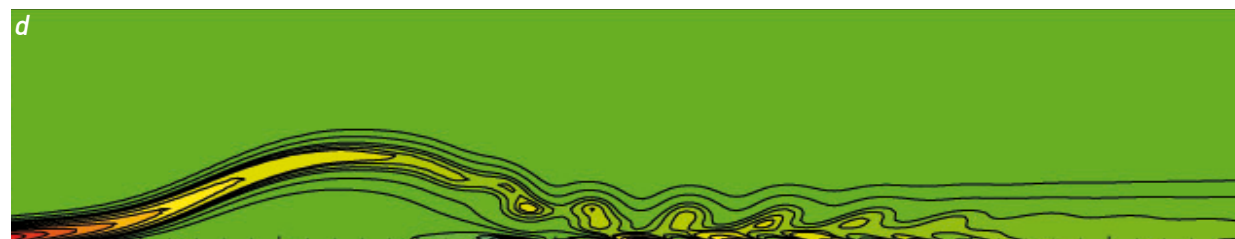
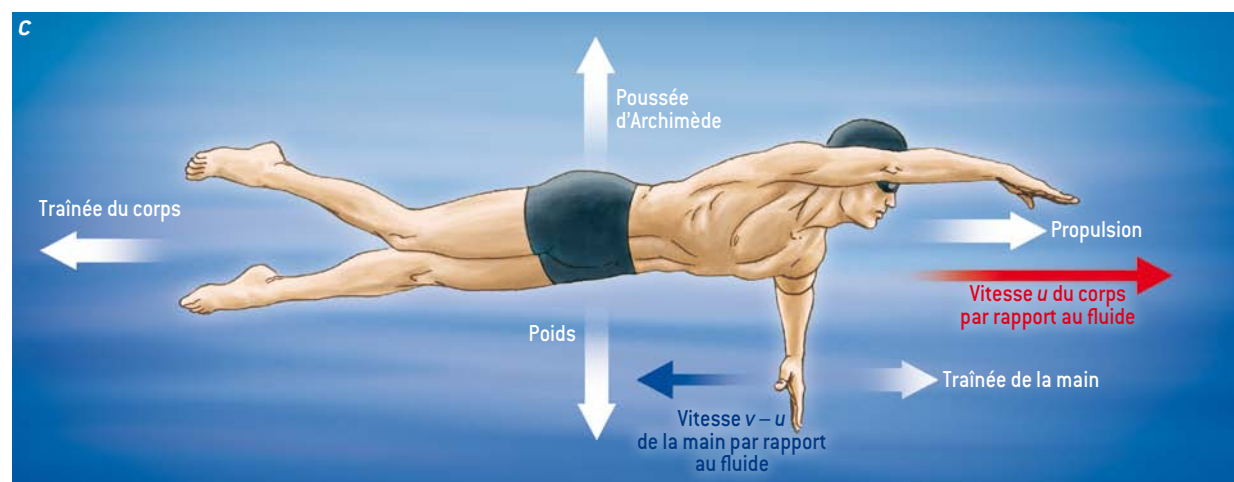
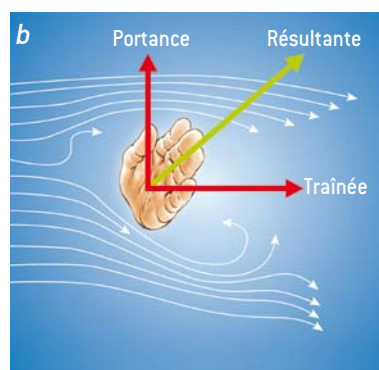
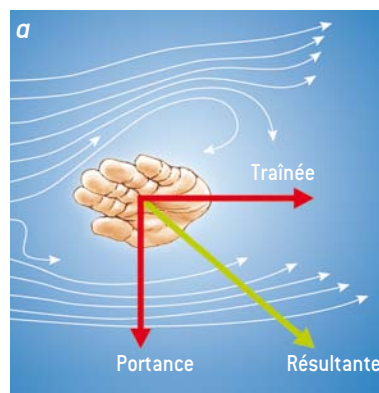
Un autre phénomène physique joue un rôle important durant la nage : la couche limite. Cette strate de particules fluides d'une fraction de millimètre d'épaisseur se forme au contact de la surface de l'objet en mouvement. À l'intérieur de la couche limite, les particules qui adhèrent à la paroi se déplacent à la même vitesse que l'objet – leur vitesse relative est donc nulle. Les particules les plus éloignées ont, elles, une vitesse proche de celle du fluide.

Si les particules de fluide se déplacent de façon ordonnée, l'écoulement est dit laminaire. Dans ce régime, les forces dues à la viscosité du fluide

prévalent. Si les particules se déplacent de façon désordonnée, l'écoulement est turbulent et, dans ce cas, les forces d'inertie prévalent sur les forces visqueuses.

En natation, le régime turbulent domine et les forces de type visqueux ont peu d'importance. Lorsque le nageur avance, la couche limite adhère à la partie antérieure de son corps, mais s'en détache en un certain point. En aval du point de décollement se forme alors une zone de basse pression dite sillage, où les mouvements des particules fluides sont désordonnés. La différence de pression entre les parties antérieure et postérieure du corps augmente, ainsi que la traînée, engendrée en grande partie par cette différence de pression. En outre, plus le décollement de la couche limite intervient tôt en amont, plus le sillage, et donc la traînée, est important.

Le décollement de la couche limite intervient plus tard si l'écoulement est turbulent. Si l'on réussit à transformer un écoulement laminaire en écoulement turbulent, on retarde ainsi le décollement de la couche limite et l'on réduit la traînée. C'est la raison pour laquelle une balle de golf va plus loin qu'une balle lisse : ses aspérités perturbent l'écoulement dans la couche limite et engendrent une turbulence.



Les principales forces qui s'exercent sur un nageur sont, outre le poids et la poussée d'Archimède, la propulsion et la traînée [c]. Lorsque la main se déplace vers l'arrière, elle produit elle aussi une traînée, opposée à celle du corps. Si la vitesse v de la main par rapport au corps est supérieure à la vitesse u du corps, la traînée de la main contribue à la propulsion. Sinon, elle freine le corps. En laissant dépasser la main par la fenêtre d'une voiture en mouvement, on obtient, outre la traînée, une portance dirigée vers le haut [a] ou vers le bas [b] selon l'orientation de la main. Sur la modélisation ci-dessus [d], une couche limite laminaire s'écoulant de gauche à droite (rouge-jaune) rencontre une perturbation et se décolle, subissant alors des instabilités tourbillonnaires. Quand la couche limite se décolle, la portance disparaît.