

direction, la main cesse de repousser l'eau vers l'arrière, et produit donc une traînée moins efficace pour propulser le corps, qui décélère. En outre, c'est à la moitié de la phase propulsive que la vitesse de la main est la plus élevée – et c'est bien à ce moment-là que l'on observe les accélérations.

Décrochage retardé

Une autre tentative d'explication du mécanisme de propulsion du nageur, enfin, a été proposée en 2000, en particulier par le Hollandais Huub Toussaint, du Centre de recherche sur la natation d'Amsterdam. Cette théorie part d'un constat : la dynamique des bras du nageur implique de tels changements de vitesse et de direction qu'il est impossible de l'analyser avec les lois utilisées jusqu'alors. Ces mêmes lois ont d'ailleurs montré leurs limites, se révélant incapables d'expliquer le vol des insectes (le paradoxe du bourdon, qui ne devrait pas voler d'après cette théorie, en est un exemple célèbre) et de certains

petits oiseaux. Durant les années 1990, divers travaux ont mis en évidence, lors de la natation, une série d'effets complexes dits non stationnaires, parmi lesquels le décrochage retardé et le tourbillon de bord d'attaque, qui produisent, chez certains insectes, une portance supplémentaire leur permettant de voler.

Le décrochage retardé a été observé dès les années 1930 lors d'expériences visant à étudier le vol des insectes : lorsque l'angle d'attaque d'une aile modèle placée dans un écoulement fluide est grand, le décrochage est retardé. Ce décrochage retardé entraîne la formation d'un tourbillon sur le bord d'attaque de l'aile (la partie la plus en amont) qui réduit la pression au-dessus de l'aile, augmentant ainsi la portance. Selon H. Toussaint, les mêmes effets sont à l'œuvre durant le mouvement du bras en crawl, et les meilleurs nageurs seraient ceux qui réussissent instinctivement à les exploiter pour se propulser.

Roue à aubes, godille, ailes d'avion, poissons, insectes et oiseaux : pourquoi est-il

aussi difficile de fournir une explication qui satisfasse la majorité des chercheurs ? Il y a plusieurs raisons à cela. En premier lieu, le mouvement d'un nageur est bien plus complexe que celui d'une roue, d'une hélice ou même d'un poisson ou d'un oiseau. Il suffit de penser aux degrés de liberté du bras humain pour s'en convaincre. Il est donc difficile de créer des simulations fluidodynamiques ou des mécanismes qui reproduisent avec exactitude le mouvement de l'athlète et, par conséquent, celui de l'eau.

La plupart des simulations utilisées en ingénierie sont conçues pour des corps rigides et recourent à des simplifications (vitesse constante, symétrie axiale ou planaire, etc.) qui ne conviennent pas aux dynamiques en œuvre en natation. Les méthodes de simulation numérique en mécanique des fluides étant toutefois de plus en plus raffinées et les ordinateurs de plus en plus puissants, certaines simulations se rapprochent étonnamment de la réalité. Les simulations et mesures expérimentales montreront d'ailleurs probablement, quand elles auront encore

LE SECRET DES SUPERCOMBINAISONS DE NATATION

Les combinaisons intégrales en polyuréthane, les « supercombinaisons », ont révolutionné le monde de la natation. Elles sont apparues en 2008, quelques mois avant les jeux Olympiques de Pékin. Entre 2008 et 2009, elles ont notablement amélioré les performances des athlètes : plus de 100 records mondiaux ont été battus, certains avec une marge déconcertante (le record du 4 × 200 mètres féminin en petit bassin a été pulvérisé de huit secondes !). Les supercombinaisons me-

naçaient l'essence même de la natation, au point que la Fédération internationale de natation (FINA) décida de les interdire fin 2009, malgré les énormes intérêts économiques en jeu.

Quelle est la différence entre une supercombinaison et une combinaison intégrale classique ? Quel avantage procure-t-elle au nageur ? La supercombinaison est née du travail d'ingénieurs de l'aérospatiale, de physiologistes, de biomécaniciens et de fluidodynamiciens de trois continents. Plus de 100 matériaux dif-

férents ont été testés, les corps de plus de 400 athlètes ont été scannés en trois dimensions, et les modèles ainsi obtenus ont été insérés dans des simulations numériques de mécanique des fluides (voir la figure). Des essais en soufflerie et en bassin hydrodynamique ont aussi été réalisés.

À l'origine, la supercombinaison était constituée de deux matériaux : un tissu semblable au nylon qui sert de base, et des inserts en polyuréthane soudés par ultrasons pour éviter les coutures, qui produisent une traînée. Depuis, certains modèles concurrents sont fabriqués uniquement en polyuréthane. Les expériences menées en bassin hydrodynamique mettent en évidence une réduction de la traînée par rapport aux combinaisons traditionnelles. À quoi est due cette différence ? Probablement à trois facteurs :

Le premier est la réduction de la traînée de frottement. Même si cette composante est moins importante que la traînée de forme, présenter au contact de l'eau la surface la plus lisse possible a une influence.

Les combinaisons en polyuréthane sont plus lisses que les autres. Le deuxième facteur est la réduction de la traînée de forme. Les supercombinaisons sont beaucoup plus serrées que les autres. Il faut près de 30 minutes pour enfiler certains modèles. Elles réduisent par conséquent la section frontale de l'athlète. Elles tendent en outre à aplatir les plis formés par les muscles en suspension dans l'eau, rendant la forme de l'athlète plus régulière et retardant le décollement de la couche limite. Des tentatives ont même été faites (sans succès pour l'instant) pour parsemer la surface des combinaisons d'irrégularités (type peau de requin) et favoriser la transition laminaire-turbulent.

Le troisième facteur est physiologique : la contention rend les muscles plus « compacts » en favorisant la circulation du sang, et diminue le temps et le coût énergétique des contractions musculaires nécessaires aux mouvements de l'athlète. Les tests de laboratoire n'ont pas mis en évidence une amélioration de la flottabilité, qui est du reste expressément interdite par le règlement de la FINA.



Test de la traînée d'une combinaison en polyuréthane. Un câble enroulé par un moteur électrique traîne le nageur à une vitesse contrôlée, tandis qu'un système électronique mesure la force de traction.