

IDÉES DE PHYSIQUE

Des bateaux qui décollent

Pour faire gagner de la vitesse à un bateau, il suffit de faire sortir sa coque hors de l'eau : c'est le rôle des hydrofoils.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Quel est le point commun des voiliers titulaires de records de vitesse comme l'*Hydroptère* (95 kilomètres par heure) ou le *Vestas Sailrocket 2* (109 kilomètres par heure) ? À pleine vitesse, l'essentiel de leur coque est hors de l'eau !

Les concepteurs de bateaux rapides se sont en effet rendu compte que si la coque est, au repos, indispensable pour flotter (grâce à la poussée d'Archimède), elle devient une gêne à grande vitesse à cause de sa traînée hydrodynamique. S'inspirant alors des techniques aéronautiques, ils ont conçu des bateaux qui se soulèvent hors de l'eau en gagnant de la vitesse, sustentés par des sortes d'ailes immergées : les hydrofoils.

L'étrave d'un navire qui avance déplace de l'eau et crée des vagues. En s'éloignant, ces dernières emportent avec elles de l'énergie fournie par le navire et, finalement, la dissipent dans le vaste océan. Elles constituent la première source de freinage.

L'origine de la vague principale créée par le bateau est visible le long de la coque : à l'avant du navire, l'eau, chassée par l'étrave, s'élève plus haut que la surface libre (voir la figure 1a). Cette surélévation se prolonge ensuite en ondulations successives le long de la coque du bateau.

Avancer dans l'eau plutôt que sur l'eau

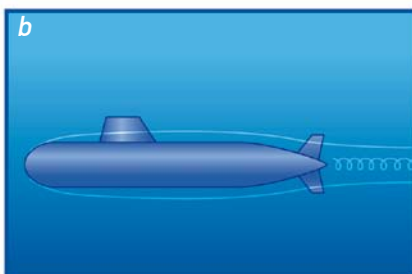
Plus le bateau avance vite, plus cette vague grossit en amplitude (sa hauteur) et en longueur d'onde (la distance entre deux crêtes consécutives). On s'aperçoit que cette vague devient un obstacle presque infranchissable lorsque sa longueur d'onde est comparable à la taille du bateau : ce dernier atteint alors sa vitesse limite.

Comment voguer plus vite ? En réduisant le freinage par les vagues. C'est possible avec une coque très effilée, qui fend l'eau, comme celle des bateaux conçus pour les courses d'aviron. Cette coque est instable

latéralement, mais en reliant deux coques de ce type, on réalise un catamaran, structure stable bien adaptée à la voile. Malgré cela, le volume immergé de l'étrave reste important, car il faut bien compenser par la poussée d'Archimède le poids toujours considérable du voilier et de son équipage.

On peut aussi tenter d'éviter la création d'une vague. Pour cela, il faut aller sous l'eau. Un sous-marin en plongée, par exemple, ne crée pas de vagues : la résistance au mouvement provient des turbulences qu'il produit et des frottements visqueux le long de sa surface (voir la figure 1b).

Comme cette résistance n'a pas le caractère infranchissable du « mur de la vague », on a tout intérêt à placer sous l'eau, et non à sa surface, les structures nécessaires à la sustentation du navire. Et plutôt que d'immerger de gros flotteurs qui engendrent la poussée d'Archimède adéquate, utilisons la force de portance s'exerçant sur des sortes d'ailerons immergées et convenablement orientées. Autrement dit, au lieu d'un dirigeable, choisissons l'avion ! C'est l'idée des hydrofoils, inventés et testés par l'ingénieur italien Enrico Forlanini en 1906 sur le lac Majeur (68 kilomètres par heure tout de même).



Dessins de Bruno Vacaro

1. L'AVANCÉE D'UN BATEAU SUR L'EAU CRÉE DES VAGUES, notamment une à l'avant qu'il doit continuellement « gravir » (a). Ces vagues emportent de l'énergie et freinent le bateau. Pour un sous-marin en plongée (b), il n'y a pas de vagues ; ce sont les turbulences créées à l'arrière et les frottements visqueux entre le liquide et la surface du vaisseau qui freinent ce dernier.

Des foils immergés en T...

On ajoute ainsi sous le bateau des appendices verticaux qui se terminent par les foils, éléments plats ayant la forme et le profil d'une aile d'avion. À l'arrêt, rien ne distingue un tel bateau d'un autre : il flotte grâce à sa coque. En revanche, dès qu'il gagne de la



2. LES KAYAKS À FOILS, OU FLYAKS, sont bien plus rapides que les kayaks classiques. Grâce à la portance exercée sur les ailettes des foils en T, la coque se soulève hors de l'eau, ce qui réduit considérablement la traînée hydrodynamique.



3. LES CATAMARANS DU TYPE HYDROPTÈRE sont équipés de foils inclinés à 45 degrés et qui traversent la surface de l'eau. La portance varie avec la profondeur d'immersion et l'inclinaison du bateau, de telle sorte que la stabilité verticale et latérale est assurée d'emblée.

vitesse, l'écoulement de l'eau autour du foil crée une force de portance dirigée vers le haut. La coque se soulève progressivement et sort entièrement de l'eau à partir d'une certaine vitesse (voir la figure 2).

Dans cette situation, seules les tiges profilées qui relient la coque au foil traversent la surface de l'eau ; les vagues sont quasiment supprimées et la surface au contact de l'eau considérablement réduite. Ne subsiste que la force de traînée, à laquelle est soumise toute aile. Cette force étant bien plus faible que la traînée d'une coque partiellement immergée, le bateau avance plus vite, à force propulsive égale.

Ce dispositif a récemment été utilisé avec un kayak pour en faire un « flyak », c'est-à-dire un kayak à foils. Deux petits foils situés sous la coque, à l'avant et à l'arrière, soulèvent l'embarcation dès que sa vitesse dépasse 10 kilomètres par heure et lui permettent d'atteindre près de 30 kilomètres par heure, allure qui a suffi pour battre le K4 de l'équipe nationale norvégienne en 2006 ! Notons par ailleurs que le foil est plus efficace qu'un patin ou qu'un ski glissant à la surface de l'eau : un ski ou un patin font des vagues et ont, en outre, une surface bien plus importante que le foil. D'ailleurs, des skis nautiques, surfs ou planches à voile munis de foils ont été réalisés et testés avec succès.

Ce type de foils en T reste toutefois délicat à mettre en œuvre, car il déstabilise les embarcations. La difficulté est d'abord d'assurer une stabilisation en hauteur. Si la portance des ailettes devient supérieure au poids, le bateau monte jusqu'à ce que les foils arrivent à la surface de l'eau. À ce stade, ils ne peuvent alors plus fonctionner comme des ailes, à cause des turbulences provoquées à l'interface eau-air devenue trop proche : les foils perdent de l'efficacité et de la portance, et le bateau redescend brusquement. Il y a par ailleurs des problèmes de stabilité latérale, avec le risque que le bateau verse sur le côté. Il faut donc lui associer une stabilisation active, qui peut être assurée par le pagayeur du flyak ou par des moteurs ajustant l'inclinaison des foils.

...ou des foils traversants en V

Il existe cependant une meilleure idée : celle des foils en V et traversant la surface de l'eau. C'est la solution retenue pour le voilier *Hydroptère* développé par le navigateur français Alain Thébault. Sa structure est celle d'un catamaran. Les deux foils principaux, fixés chacun à l'un des deux flotteurs, sont des surfaces profilées descendant sous l'eau et inclinées à 45 degrés en direction de l'axe central du bateau (voir la figure 3).

LES AUTEURS



Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris. Leur blog : <http://blog.idphys.fr>

Retrouvez les articles de J.-M. Courty et E. Kierlik sur www.pourlascience.fr



BIBLIOGRAPHIE

R. Vellinga,
Hydrofoils : Design, Build, Fly,
Peacock Hill Publishing, 2009.

Lorsque le bateau commence à prendre de la vitesse, la somme des portances des deux foils est verticale et devient supérieure au poids. Le navire s'élève et, ce faisant, les foils émergent progressivement. La portance diminue alors jusqu'à ce qu'elle équilibre exactement le poids. La stabilité latérale est aussi garantie : si le navire s'incline, le foil du côté le plus bas sera plus enfoncé et plus horizontal que l'autre, d'où une force de portance plus importante et un couple ramenant le navire à l'horizontale.

Le prix à payer est une forte augmentation des contraintes mécaniques. La mise au point de l'*Hydroptère* a demandé de nombreuses années et les compétences de spécialistes des matériaux issus de l'aéronautique, notamment avec des amortisseurs conçus par Airbus. Même si la surface portante traverse l'interface air-eau, la diminu-

tion de la traînée reste très importante, car les vagues créées demeurent modestes. Cela permettra-t-il à l'*Hydroptère*, barré par Jean Le Cam et Yves Parlier, de battre cet été le record de la *Transpacifique* entre Los Angeles et Honolulu ?

En attendant, les concepteurs des catamarans AC72 qui vont participer à la prochaine *America's Cup*, en septembre 2013, ne s'y sont pas trompés. Un certain nombre de contraintes avaient été mises au règlement de cette course pour empêcher l'utilisation d'hydrofoils. Mais les concepteurs ont réussi à les contourner en modifiant la forme des dérives, par exemple en S, ce qui leur confère une force de portance. Ils ont ainsi pu faire déjauger complètement leurs navires – au prix d'une plus grande instabilité, qui a déjà causé deux accidents spectaculaires et la mort d'un équipier. ■

Offrez ou offrez-vous le livre *Les sens trompés*



Cet ouvrage est un recueil des articles que le neurologue Patrick Verstichel a publiés dans la rubrique « Le cas clinique » du magazine *Cerveau & Psycho*. En tant que médecin clinicien, il est confronté à des personnes qui présentent des symptômes inquiétants, surprenants, souvent inexpliqués. Après un examen clinique minutieux et les indispensables scanners IRM, il pose son diagnostic et propose une prise en charge adaptée.

Patrick Verstichel mène ses enquêtes médicales et scientifiques avec perspicacité. En nous présentant ces patients et leurs maladies sous forme de petites histoires, il nous fait comprendre comment fonctionne le cerveau, et pourquoi, parfois, il dysfonctionne. Un voyage étonnant au cœur du cerveau !

160 pages • 25 euros • ISBN 978-2-84245-111-0

Disponible en librairie ou sur www.cerveauetpsycho.fr