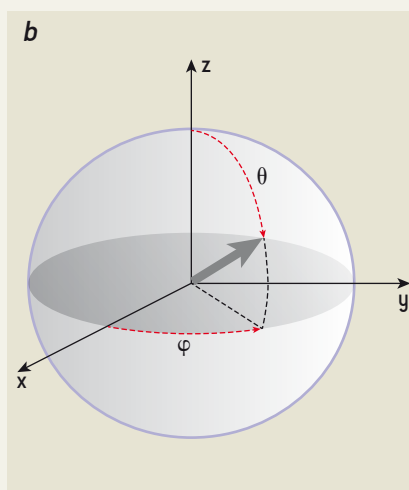


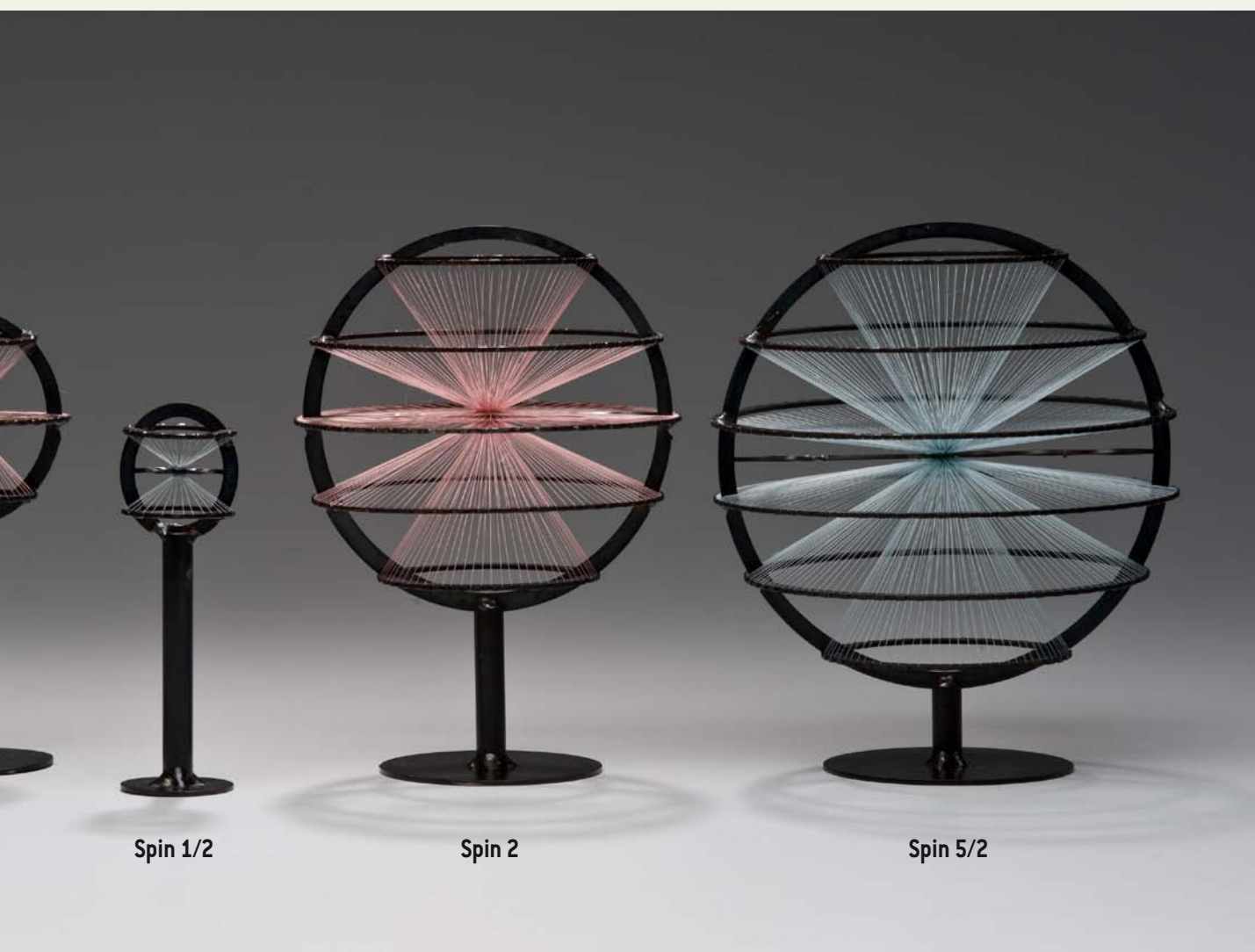
boson est un entier (0, 1, 2,...). Par exemple, le boson de Higgs a un spin égal à zéro.

Comment représenter un spin ? En projection sur un axe donné, un spin J ne peut prendre que les $2J + 1$ valeurs $-J, -J + 1, \dots, J - 1, J$. Cela correspond à certaines orientations, que l'on peut figurer sur une sphère dite de Bloch (voir la figure b, où les angles θ et φ définissent l'orientation). S'en inspirant, J. Voss-Andreae a tissé un fil de soie bleu ou rose sur une structure à cercles. Les cônes ainsi formés illustrent les états possibles d'un spin donné. Les objets roses (les bosons) ont un disque plan, qui correspond à une projection de spin égale à zéro, alors que les objets bleus (les fermions) en sont dépourvus.



Qu'en est-il de l'attribution des sexes ? Deux fermions identiques ne peuvent coexister dans le même état quantique, car ils sont soumis au principe d'exclusion de Pauli. Ces particules, « rivales pour une même place », seraient donc masculines. La distinction entre deux sexes serait-elle d'origine quantique ? ■

Les paradoxes de la matière,
Dossier Pour la Science, n° 79, avril-juin 2013.
 J. Voss-Andreae, *Quantum sculpture : art inspired by the deeper nature of reality*, *Leonardo*, vol. 44(1), pp. 14-20, 2011.
 P. Ball, *Quantum objects on show*, *Nature*, vol. 426, p. 416, 2009.
 M. Arndt et al., *Wave-particle duality of C₆₀ molecules*, *Nature*, vol. 401, pp. 680-682, 1999.
www.JulianVossAndreae.com



Dan Kivik

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

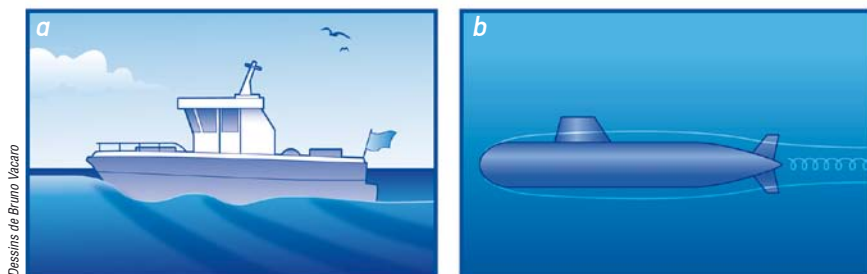
latéralement, mais en reliant deux coques de ce type, on réalise un catamaran, structure stable bien adaptée à la voile. Malgré cela, le volume immergé de l'étrave reste important, car il faut bien compenser par la poussée d'Archimède le poids toujours considérable du voilier et de son équipage.

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).

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



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.

Dessins de Bruno Vacaro



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

SCIENCE & GASTRONOMIE

Devoirs de vacances

Si la matière enseignée est appétissante, les « devoirs » sont des plaisirs. Profitons de l'été pour explorer les précisions culinaires.

Hervé THIS

Au cours des « séminaires de gastronomie moléculaire », ouverts au public depuis plus de dix ans, nous explorons expérimentalement les précisions culinaires, c'est-à-dire les dictons, on-dit, trucs, astuces, proverbes, maximes... relatifs à la cuisine.

Ces précisions se comptent par dizaines de milliers, rien que pour la cuisine française, et, comme beaucoup sont fausses, il semble utile de ne pas les transmettre à nos successeurs sans examen critique. Des expérimentations sont nécessaires.

Lors des derniers séminaires, nous avons ainsi considéré les bouillons, les simples bouillons de bœuf, pour lesquels les questions abondent. Par exemple, nous avons comparé des bouillons qui étaient écumés et des bouillons qui étaient portés à ébullition sans soin particulier. La question s'impose, parce que, dans les restaurants du monde entier, la première chose que font les cuisiniers, le matin en arrivant au travail, est de mettre de la viande dans de l'eau et de chauffer doucement, afin de produire les bouillons qui serviront à « mouiller » les mets (l'eau est rarement utilisée par les professionnels : elle n'a pas beaucoup de goût).

Or les bouillons troubles sont comme des coulures sur le travail d'un peintre en bâtiment : le signe d'un travail médiocre ; de sorte que l'on voit des cuisiniers, armés d'une louche, qui passent de très longs moments à écumer, à retirer patiemment les matières qui flottent à la surface des bouillons, afin d'obtenir des bouillons clairs.

L'opération est-elle efficace ? Nous avons testé la pratique, en comparant des bouillons préparés à partir de la même casserole, de la même eau, de la même viande, chauffés de la même façon, avec un seul paramètre modifié : le fait que l'on écume ou non. Et nous avons vérifié qu'il y a un effet, mais un effet insuffisant : les bouillons écumés soigneusement sont plus clairs que des bouillons non écumés, mais ils restent légèrement turbides.

Dans un autre séminaire, nous avons voulu savoir si la nature de l'eau changeait le goût des bouillons. Cette fois, nous avons comparé quatre eaux : l'eau du robinet, l'eau de Volvic, l'eau de Vittel, l'eau Cristalline.

Pour commencer, nous avons organisé un « test triangulaire » pour savoir si les eaux étaient distinguées par les dégustateurs. On donne à ces derniers trois verres dont deux contiennent une même eau, et le troisième une autre eau. Les verres sont rendus anonymes, donnés dans un ordre tiré au hasard, et l'on demande aux dégustateurs quels sont les deux verres qui contiennent la même eau. Deux participants n'ont pas été capables de distinguer les eaux, mais les trois autres ont parfaitement reconnu les eaux différentes et ils étaient même capables de décrire les différences.

Revenons à nos bouillons préparés dans les mêmes conditions, mais avec des eaux différentes. On obtient le même type de résultat : la nature de l'eau détermine la qualité du bouillon. Non pas que certains bouillons soient « meilleurs » que d'autres, puisque le « bon », le « meilleur », est une question personnelle...



À propos de ce simple bouillon, de nombreuses questions demeurent, que les participants des séminaires ont décidé d'étudier pendant l'été. Ainsi, des bouillons faits à partir d'un seul gros morceau ou à partir d'un morceau finement divisé ont-ils des goûts différents ?

De telles questions étant peu appropriées aux chaleurs estivales, nous avons proposé des tests plus de saison. Par exemple, quand on ébouillante des pêches (avant de les mettre dans l'eau glacée pour les refroidir avant de les peler), puis qu'on les poche dans un sirop pendant une dizaine de minutes, un papier sulfurisé posé au-dessus de la casserole prévient-il le noircissement des fruits, certains auteurs recommandant cette procédure ? Autre exemple : une feuille de figuier ajoutée à une daube accélère-t-elle la cuisson, attendrissant la viande ?

Dans ces deux cas, on pourrait chercher des explications... mais ne vaut-il pas mieux faire les tests ? Des devoirs de vacances sont ainsi transformés en plaisirs de vacances, une façon d'éviter que les vacances n'aient la même étymologie que « vacuité ». ■



Hervé THIS est physico-chimiste dans le Groupe INRA de gastronomie moléculaire, professeur à AgroParisTech et directeur scientifique de la Fondation Science & Culture Alimentaire (Académie des sciences).

Retrouvez les articles de H. This sur www.pourlascience.fr

