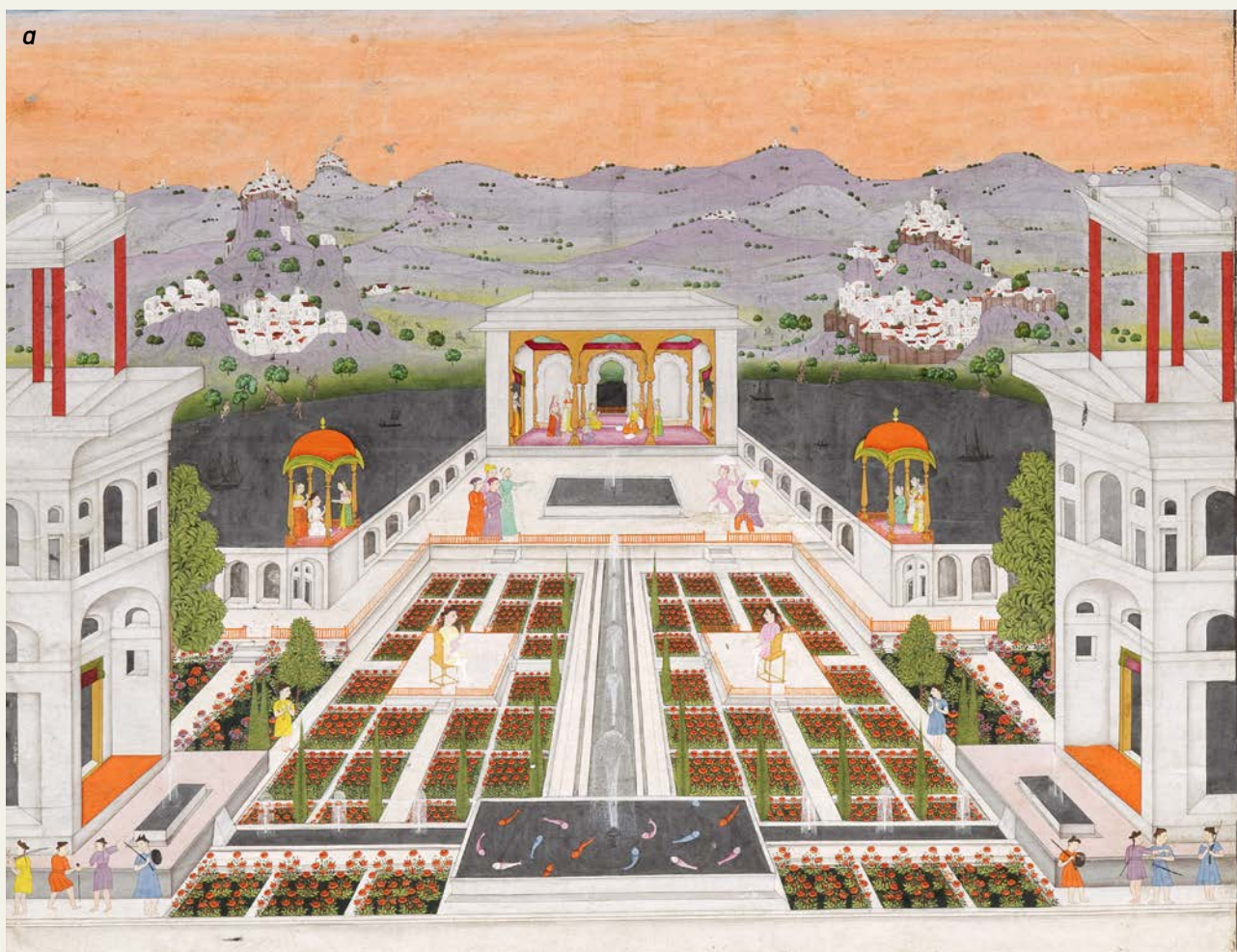




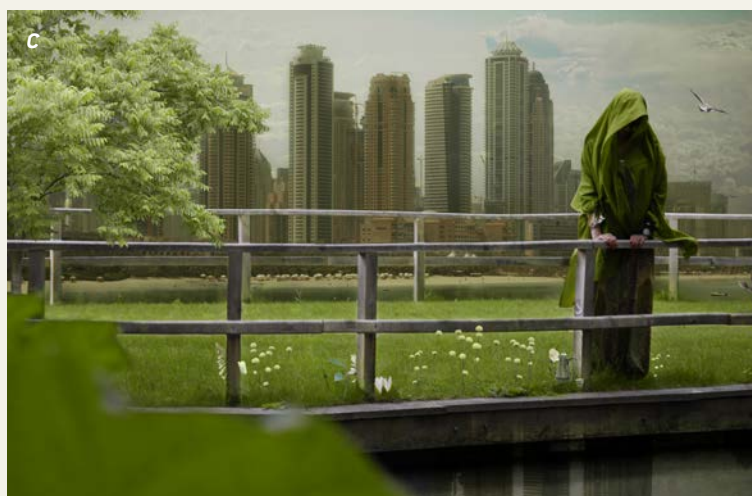
© Fondation Cusubodia, Collection Frits Lugt, Paris

Un jardin de l'Inde Moghole (ici, à Hyderabad, au-dessus d'un lac et face à un paysage de collines) est construit selon le modèle persan mis au point près de vingt siècles plus tôt. Il est découpé en quatre parties par des canaux rectilignes alimentés par un bassin.



© Thierry Rambaud

L'anamorphose qui transforme des jardins suspendus en motif octogonal.



© Image courtesy of Barjeel Art Foundation, Sharjah

Reflecting, de Lateefa bint Maktoum, pour réfléchir sur notre rapport aux jardins en ces temps d'urbanisation intensive.

Tous les papiers se recyclent,
alors trions-les tous.

**C'est aussi
simple à faire
qu'à lire.**

La presse écrite s'engage pour le recyclage
des papiers avec Ecofolio.



IDÉES DE PHYSIQUE

Dompter la vague avec une planche

La pratique du surf s'apparente à celle du snowboard, mais avec une différence notable : la piste est en perpétuel mouvement !

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

« **E**t tout à coup, là-bas, d'une énorme vague qui jaillit vers le ciel [...], un homme à tête noire surgit au-dessus d'une crête neigeuse [...], il vole à travers les airs, aussi vite que la houle qui le porte [...]. Du fond de la mer, il a bondi sur le dos d'une lame rugissante sur laquelle il s'accroche, malgré les efforts de celle-ci pour se débarrasser de lui. » En quelques phrases, Jack London saisit bien notre fascination pour le surf. Et pour mieux apprécier les performances de ces sportifs, tentons de comprendre comment ils jouent si habilement avec les vagues.

La première difficulté à laquelle est confronté une surfeuse ou un surfeur est d'« attraper » la vague. Celle-ci s'apparente en effet à une *ola* : une onde qui se propage de proche en proche, mais qui ne transporte pas de matière.

Attraper la vague

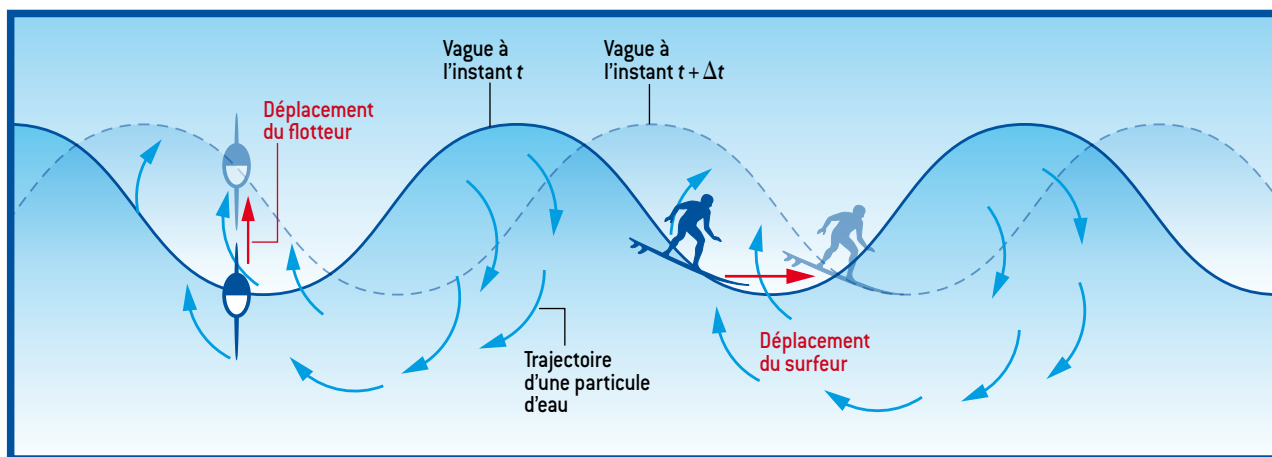
Observons en effet le mouvement d'un flotteur ou d'un nageur immobile qui se trouve sur le chemin d'une vague se propageant de gauche à droite vers le rivage. Il commence par avancer vers la droite lorsqu'il prend la

crête de la vague, mais recule vers la gauche lorsqu'il se retrouve dans le creux : pour l'essentiel, il fait du surplace. L'onde ne l'emporte pas dans son mouvement.

Et inutile d'attendre les vagues successives : pour se déplacer, la seule solution dont dispose le surfeur est de ramer ! C'est pourquoi on voit les surfeurs s'éloigner de la côte et attendre, allongés sur leur planche, en guettant les vagues qui arrivent. Lorsque le surfeur juge prometteuse une vague, tout devient une question de *tempo*. Il rame rapidement avec ses bras afin que, lorsque le sommet de la vague l'atteint, il ait acquis une vitesse égale à la vitesse de propagation de l'onde.

Quelle est cette vitesse de propagation, que l'on notera c ? Une règle empirique en donne une estimation au moment où la vague se brise et dans le cas où la pente du fond

UN FLOTTEUR INITIALEMENT IMMOBILE effectue un mouvement de va-et-vient vertical à l'arrivée d'une vague ou d'un train de vagues. Un surfeur, lui, fait en sorte d'acquies une vitesse (*ici vers la droite*) égale à la vitesse de propagation de l'onde. Il reste ainsi dans la même position relativement à la vague.



Dessins de Bruno Vacaro

■ LES AUTEURS



Jean-Michel COURTAY
et Édouard KIERLIK
sont professeurs
de physique à l'université
Pierre-et-Marie-Curie, à Paris.
Leur blog : www.scilog.fr/idees-de-physique

marin est douce : $c = \sqrt{1,3gH}$, où g est l'accélération de la pesanteur et H la hauteur de la vague avant qu'elle ne déferle. Pour une vague de 1 mètre (pour surfeurs débutants...), on obtient 13 kilomètres par heure (km/h). Et le triple, soit 39 km/h, pour une vague de 9 mètres, digne du spot de Jaws à Hawaii – on comprend alors que certains surfeurs se fassent tracter au bon endroit par un scooter des mers !

Gagner de la vitesse

Voilà notre surfeur au sommet de la vague prête à déferler. Comment peut-il gagner encore de la vitesse pour avoir les meilleures sensations de glisse ? Il lui suffit de dévaler la pente d'eau et de convertir son énergie potentielle de gravité en énergie cinétique. Avec un gain d'énergie de mgH , le surfeur atteint alors une vitesse égale à $v = \sqrt{3,3gH}$, soit 20,5 km/h pour une vague haute de 1 mètre.

Toute l'astuce consiste à ne pas trop descendre dans la direction perpendiculaire à la vague : sinon, on dépasserait la vitesse de l'onde et l'on précéderait la vague. On peut se laisser glisser de biais, comme au

monoski, pour gagner de la vitesse parallèlement à la crête de la vague tout en conservant une vitesse perpendiculaire égale à la vitesse de l'onde.

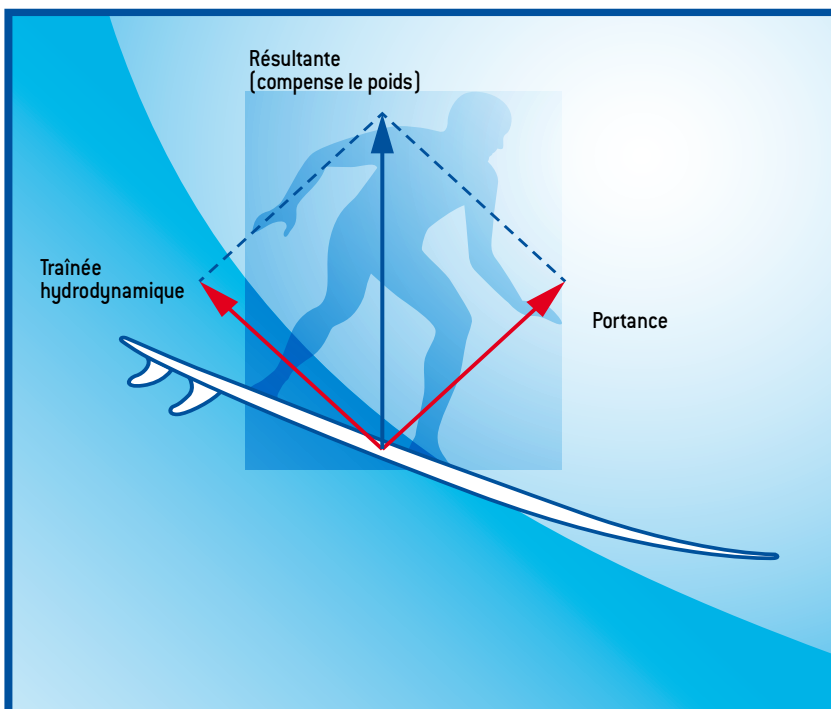
La vitesse totale du surfeur étant, au bas de la vague, $\sqrt{3,3gH}$ et sa composante en direction de la plage devant être égale à c , l'angle à donner à la trajectoire par rapport à la ligne de crête est fixé : environ 40 degrés. Dans cette situation, la vitesse de glisse du sportif parallèlement à la vague est égale à $\sqrt{2gH}$, soit 16 km/h pour la vague haute de 1 mètre.

Peut-on mieux faire encore, si l'on fait abstraction de toutes les dissipations d'énergie ? Les amateurs de surf qui pratiquent la technique dite du pompage savent que oui. Cette technique revient à tirer son énergie de la vague. En quoi consiste-t-elle ?

Au niveau du surfeur, la vitesse de l'eau (à distinguer de celle de l'onde) qui le porte est pour l'essentiel verticale. Autrement dit, comme un skieur, le surfeur dévale un plan incliné, mais ce dernier est animé d'un mouvement ascendant ! Par conséquent, s'il réduit sa vitesse de chute, par exemple en diminuant l'angle de sa trajectoire, le surfeur remonte vers la crête. Il gagne une énergie potentielle de pesanteur qu'il peut ensuite reconvertir en énergie cinétique en glissant plus ou moins de biais, et ainsi de suite – un bon moyen de gagner de la vitesse puis de la maintenir.

Glisser vite et durablement ne suffit pas, il faut avant tout flotter. Comment le poids du surfeur et de son équipement est-il compensé ? Bien sûr, on profite de la poussée d'Archimède grâce au matériau de la planche, moins dense que l'eau – par exemple du polystyrène à 30 kilogrammes par mètre cube. Ainsi, pour une planche longue de 2 mètres, large de 50 centimètres et épaisse de 6 centimètres, son volume d'une soixantaine de litres lui permet de soutenir une personne de 50 kilogrammes.

LES PRINCIPALES FORCES auxquelles est soumis le surfeur sont d'une part la portance hydrodynamique et la poussée d'Archimède, perpendiculaires à la surface de l'eau, d'autre part la traînée hydrodynamique, parallèle à cette surface. La résultante de ces forces compense le poids du surfeur et de son équipement, en régime stationnaire.





LA GLISSE D'UN SURFEUR parallèlement à la vague est analogue à celle, de travers, d'un skieur ou d'un pratiquant du snowboard sur une pente enneigée. Sauf que dans le premiers cas, la pente est animée d'un mouvement ascendant... Pour ne pas dériver latéralement, les deux types de sportifs jouent sur l'inclinaison de leur planche.

Ce n'est pas assez pour un adulte pas trop fluet... Ce dernier doit mettre à profit la force de portance hydrodynamique s'exerçant sur la planche, analogue à la portance aérodynamique qui soulève une aile d'avion. La portance hydrodynamique croît avec la vitesse par rapport à l'eau, si bien qu'elle devient prépondérante par rapport à la poussée d'Archimède pour des vitesses supérieures à 10 km/h. Comme un cata-maran, la planche sort alors de l'eau.

Cruciale portance

Les amateurs de sensations fortes peuvent ainsi privilégier les planches courtes, donc moins volumineuses, mais à condition de gagner assez de vitesse avant de se mettre debout. En revanche, comme avec une aile d'avion, il sera en outre nécessaire de jouer sur l'angle d'attaque de la planche par rapport à la surface de l'eau pour garantir une portance suffisante.

Que devient cette portance lorsque le surfeur est sur la pente ? Commençons par le cas où le surfeur glisse dos à la vague. La portance, perpendiculaire à la surface de l'eau, a une composante horizontale orientée dans la direction de propagation de la vague. C'est donc elle qui (comme au ski) joue le rôle de force motrice vers l'avant. Si le surfeur peut néanmoins être immobile par rapport à la vague et garder la même position, c'est que cette force est compensée par la composante horizontale de la traînée, c'est-à-dire le frottement hydrodynamique de la planche sur l'eau, une force parallèle à la surface.

Pour une vitesse donnée, la force motrice varie avec la position du surfeur, en raison de la courbure de la vague. Dans la partie concave, si le surfeur est plus rapide que l'onde, il descend plus bas, dans une zone moins pentue où la force motrice diminue tandis que la part de la traînée augmente : il ralentira et sera rattrapé par l'onde. Si, au contraire, il est plus lent, il gagnera une zone de pente plus raide et accélérera pour reprendre de la vitesse. La partie concave de la vague permet donc une avancée stable. Ce n'est pas le cas dans la partie convexe de la vague, où l'effet est inversé.

Quand le surfeur avance le long de la vague, la difficulté est de ne pas glisser latéralement. Pour un skieur ou un pratiquant de snowboard, c'est possible grâce aux carres de la planche, c'est-à-dire ses bords, qui sont aiguisés pour accrocher sur la pente et dériver le moins possible sur le côté. Pour le surfeur, il en est de même : celui-ci va incliner la planche sur le côté par rapport à la surface pour mordre l'eau et, selon l'état de la tranche de la planche, plus ou moins mince et plus ou moins arrondie, il va accrocher la vague.

Les planches en bois que chevauchent les Polynésiens depuis des centaines d'années n'offrent que ce moyen pour accrocher la vague. Les planches plus modernes ont des ailerons à l'arrière. Ils jouent le rôle de dérives et facilitent le contrôle de trajectoire. Il n'en demeure pas moins que l'art du surfeur réside toujours dans le choix d'une bonne orientation et d'une bonne inclinaison de sa planche.

■ BIBLIOGRAPHIE

R. Edge, *Surf physics*, *The Physics Teacher*, vol. 39(5), pp. 272-277, 2001.

M. Paine, *Hydrodynamics of surfboards*, mémoire de fin d'études, université de Sydney, 1974 (www.mpainesydney.com/filechute/paine_surf_thesis1974.pdf).

T. Hendricks, *Surfboard hydrodynamics*, série d'articles publiés dans *Surfer Magazine*, 1969 (www.rodndtube.com/surf/info/Hydrodynamics.shtml).



Retrouvez la rubrique
Idées de physique sur
www.pourlascience.fr

QUESTION AUX EXPERTS

Boire de l'alcool fait-il grossir ?

L'éthanol est très calorique, mais son métabolisme particulier limite en réalité ses effets dans la prise de poids.

Bernard SCHMITT



© Shutterstock.com/Mauro Pezzotta

L'alcool ferait grossir ? En première analyse, le bilan de l'oxydation de l'alcool éthylique ne contredit pas cette idée reçue. Une molécule d'éthanol produit en effet 18 liaisons riches en énergie, de sorte que chaque gramme d'alcool apporte 7 calories (contre 4 pour les glucides ou les protéines, et 9 pour les lipides). Une personne consommant une bouteille de vin à 12 degrés absorbera donc 504 calories, soit le cinquième de sa ration calorique quotidienne, et cela sans parler des sucres contenus dans les boissons alcoolisées : 30 % en masse dans les vins doux par exemple...

La consommation d'alcool majore ainsi l'apport calorique total quotidien, ce qui *a priori* devrait se traduire par un surpoids. Or c'est plutôt l'inverse que l'on observe habituellement : les grands consommateurs d'alcool ne sont pas plus gros que les abstinents, et ont même un indice de masse corporelle (IMC) légèrement inférieur à la moyenne.

On a tenté d'expliquer ce paradoxe par l'idée que les grands buveurs mangeraient moins. Une idée fausse, ont montré des enquêtes épidémiologiques. De plus, les gros buveurs souffrent souvent de troubles anxiodépressifs qui les poussent à manger pour se rassurer. Ils devraient donc être plus gros et avoir un IMC plus élevé. Or ce n'est pas le cas.

Pour les nutritionnistes, la clé de ce paradoxe est plutôt liée au métabolisme particulier de l'alcool, que le corps ne stocke pas mais transforme par deux voies

enzymatiques principales, qui se déroulent essentiellement dans les cellules du foie.

La première voie est celle de l'ADH (alcool-déshydrogénase hépatique), prépondérante chez les buveurs modérés. Elle comprend deux oxydations successives : l'éthanol est d'abord hydrolysé en acétaldéhyde, très toxique, qui est ensuite oxydé en acétate (ou acide acétique). La première oxydation nécessite une coenzyme notée NAD, qui acquiert un atome d'hydrogène et devient du NADH. La seconde oxydation est effectuée par l'enzyme ALDH (aldéhyde déshydrogénase) en présence de l'ion NAD^+ .

Des calories non stockées

L'acide acétique produit par cette voie se lie à une molécule nommée coenzyme A, ce qui donne l'acétyl-CoA. Ce dernier pénètre dans les mitochondries des cellules comme substrat du cycle de Krebs (la voie métabolique qui fournit à la cellule son énergie, sous la forme de molécules d'ATP). Couplées à la chaîne respiratoire mitochondriale, la réoxydation du NADH et celle des coenzymes issues du cycle de Krebs produisent 18 liaisons riches en énergie sous forme d'ATP.

Tant que l'enzyme NAD^+ est en concentration suffisante, il n'existe pas de limitation à la captation et à l'oxydation de l'alcool éthylique par les cellules du foie. Il s'ensuit que le rapport des concentrations $[\text{NADH}]/[\text{NAD}^+]$ augmente très vite. Cela a pour conséquence de perturber les autres voies métaboliques,

notamment glucidiques et lipidiques. Si l'on fait un bilan énergétique, une petite dose d'alcool (chez les buveurs très modérés) contribue (de façon négligeable) au métabolisme général. Au-delà, c'est en pure perte sur le plan de l'énergie stockable.

La seconde voie enzymatique de l'hydrolyse de l'alcool est le MEOS (*microsomal ethanol oxidizing system*), un système de dégradation de l'éthanol dans le foie qui se met en marche lorsque sa concentration dépasse les possibilités d'oxydation par l'ADH et la chaîne respiratoire mitochondriale. Cette voie est donc d'autant plus importante que la personne boit régulièrement et avec excès. Elle fait intervenir une enzyme, le CYP2E1, capable d'oxyder l'éthanol en acétaldéhyde et, en même temps, de transformer une molécule de NADPH en NADP^+ . Cela a pour conséquence de produire de l'énergie sous forme de chaleur, et non sous forme stockable. C'est pourquoi les calories apportées par l'alcool sont considérées comme peu utiles, étant exclues du bilan énergétique global.

Que conclure ? Non, l'alcool ne fait pas grossir, d'autant plus que sa consommation régulière entraîne une dénutrition par baisse de la glutathion peroxydase, du sélénium, de la vitamine E, du calcium, du fer, des folates, du zinc et des vitamines A, C, B1, B6, B12 et PP. Rien que ça ! ■

Bernard SCHMITT est médecin et chercheur au CERNh (Centre d'enseignement et de recherche en nutrition humaine), à Lorient.