

■ 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.

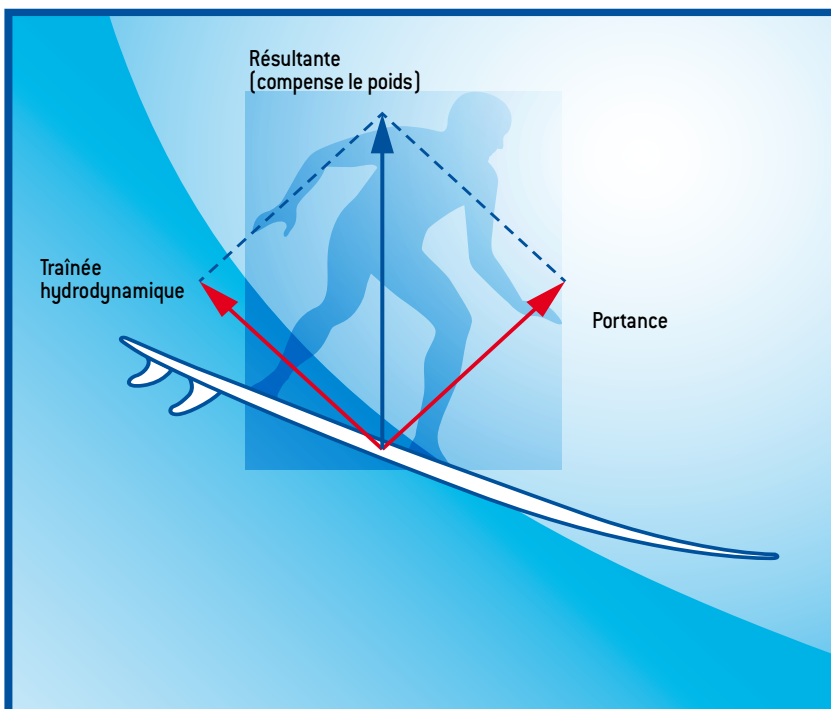
La vitesse totale du surfeur étant, au bas de la vague, $\sqrt{3,3gH}$ et sa composante en direction de la plage devant être égale à c , l'angle à donner à la trajectoire par rapport à la ligne de crête est fixé : environ 40 degrés. Dans cette situation, la vitesse de glisse du sportif parallèlement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