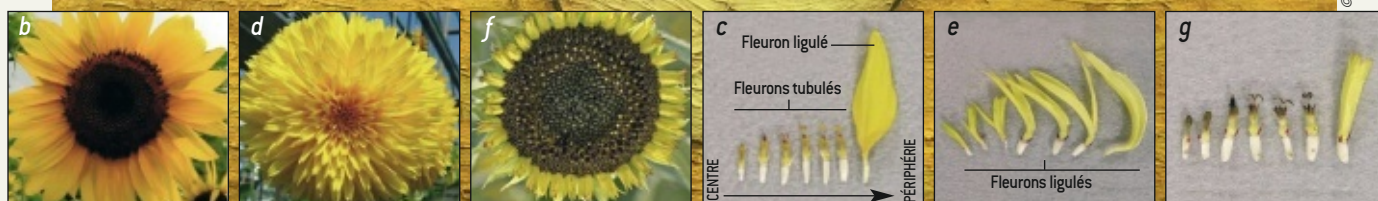




© Gustavo Tomsich/CCRBIS



IDÉES DE PHYSIQUE

Plus vite que le vent

Certains véhicules à propulsion éolienne remontent le vent de face... et, en vent arrière, vont plus vite que lui !

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Le vent arrière qui gonfle et pousse les voiles d'un bateau le propulse sur les flots sans jamais l'entraîner au-delà de sa propre vitesse. Pour aller plus vite que le vent, les voiliers, chars à voile compris, doivent changer d'allure et prendre le vent de travers, « au large » comme disent les marins, ou « au près » si l'on veut remonter le vent. Mais ce n'est pas une fatalité dictée par les lois de la physique. En effet, d'ingénieux mécanismes permettent à des véhicules de tirer l'énergie du vent pour l'affronter de face ou pour aller plus vite que lui en se déplaçant exactement dans le même sens ! Ces engins ne sont pas mus par des voiles, mais par des hélices. Comment fonctionnent-ils et quelles vitesses pourraient-ils atteindre ?

Un peu comme un yo-yo

Dépasser le vent en propulsion éolienne est contre-intuitif. Mais un phénomène analogue peut être constaté avec un simple yo-yo, ou avec un système particulier à quatre roues. Commençons par le yo-yo. Après avoir enroulé partiellement sa ficelle sur le moyeu, posons-le au sol de telle sorte que le reste de la ficelle pende sous le moyeu. Donnons à notre main le rôle du vent et tirons la ficelle. La force exercée fait tourner le yo-yo qui s'enroule sur la ficelle, avance vers notre main et, plus éton-

nant, gagne du terrain par rapport à cette dernière (voir la figure 1). Comment cela est-il possible ?

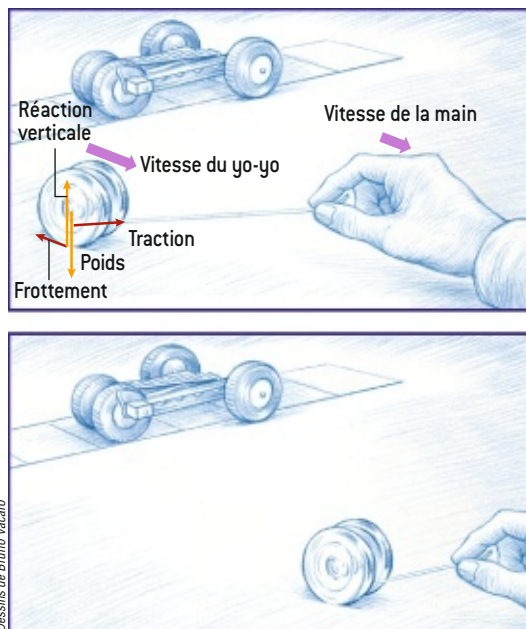
Si l'on tenait le yo-yo par son axe central, la moindre traction sur la ficelle la déroulerait. La rotation du yo-yo résulterait dans ce cas du moment de la force exercée. Mais au sol, il ne faut pas oublier le moment de la

force de réaction. En vertu des lois de Coulomb, si le yo-yo ne glisse pas, cette force ne dépend que du poids du yo-yo et du coefficient de frottement avec le sol, et sa composante horizontale est de sens opposé à la force exercée. Comme le rayon du disque du yo-yo est plus grand que son moyeu, le moment de la réaction peut être, par un effet

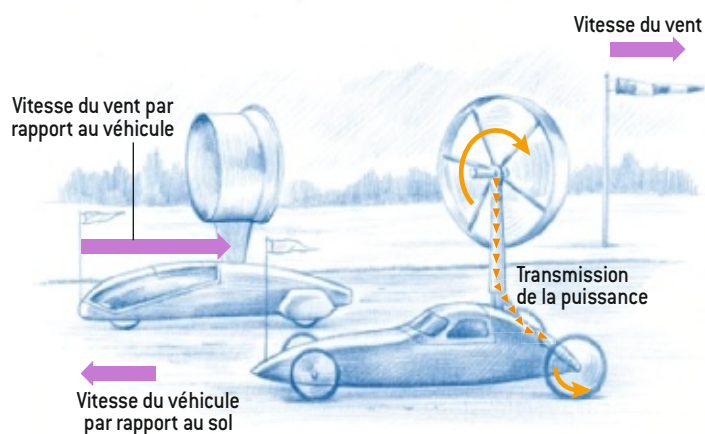
de levier, supérieur au moment de la traction exercée et de sens opposé. La conséquence est que le yo-yo remonte le long de la ficelle, qui s'enroule sur le moyeu : le yo-yo rattrape la main qui le met en mouvement !

Pour nous rapprocher de la situation éolienne, oublions la ficelle et construisons un petit véhicule à quatre roues, dont les deux roues arrière sont plus écartées de l'axe central que les roues avant. Couplons l'essieu du train avant et celui du train arrière au moyen d'une chaîne reliant deux pignons de tailles différentes, choisis afin que la vitesse de rotation des roues arrière soit plus rapide que celle des roues avant, par exemple k fois plus rapide, pour retrouver l'effet de levier précédent.

Plaçons ce drôle de véhicule à cheval sur un tapis roulant, de telle sorte que les roues avant soient sur le tapis et les roues arrière de part et d'autre sur le sol fixe (voir la figure 1). Il s'ensuit que si le tapis est tiré à la vitesse V , la vitesse du véhicule par rapport au sol devra être k fois supérieure à la vitesse du véhicule par rapport au tapis. Cette condition est vérifiée seulement si la vitesse du véhicule par rapport au



1. LE YO-YO AVANCE PLUS VITE que la main qui tire sa ficelle. Le moment de la force de frottement étant supérieur au moment de la force de traction, le yo-yo tourne en enroulant la ficelle, d'où sa vitesse supérieure à celle de la main. Un système analogue peut être obtenu avec un véhicule (*en haut à gauche*) dont les deux roues avant reposent sur un tapis roulant et les deux roues arrière sont en contact avec le sol immobile, le train avant étant couplé au train arrière de façon que les roues arrière tournent plus vite que les roues avant. Quand le tapis roule à une certaine vitesse, le véhicule se déplace alors dans le même sens que le tapis, mais avec une vitesse supérieure.



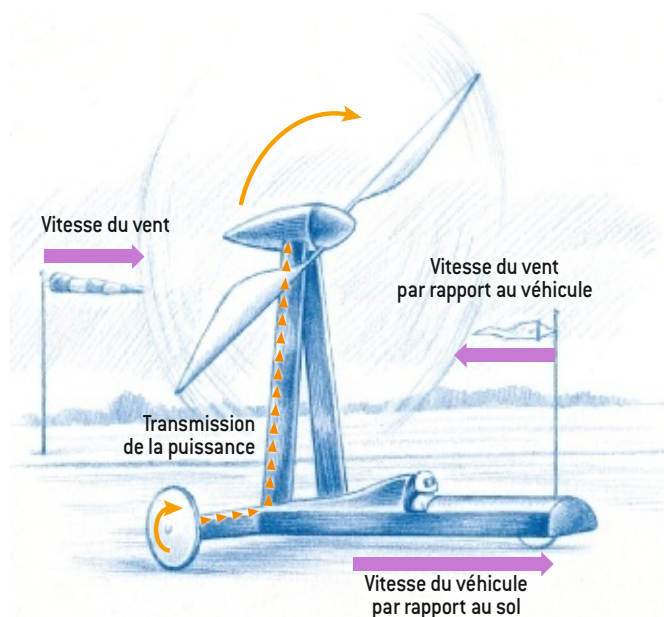
2. UN VENT DE FACE PEUT ÊTRE EXPLOITÉ pour faire tourner une hélice montée sur un véhicule sans moteur. La rotation de l'hélice étant transmise aux roues du véhicule, ce dernier peut alors remonter le vent, par une propulsion purement éolienne.

tapis est égale à $V/(k-1)$: le mobile remonte donc le long du tapis roulant. En revanche, si les engrenages sont dans le rapport inverse ($k < 1$), le véhicule se déplace, mais dans la direction opposée au tapis ! Dans le cas d'un rapport simple ($k = 1$), le système ne peut évidemment pas fonctionner.

Une hélice couplée aux roues et du vent

Comment réaliser ce type de véhicule avec du vent à la place d'un tapis roulant ? Il faut pour cela utiliser un dispositif qui s'appuie sur l'air sans « glisser » dessus et muni d'un système d'engrenage pour faire levier. Ce qui s'en rapproche le plus est une hélice couplée aux roues de telle sorte qu'elle puisse les actionner (voir la figure 2). Quelle force les roues peuvent-elles exercer sur le sol pour propulser le véhicule ? Avec une démultiplication suffisante et une bonne transmission mécanique, cette force peut être aussi grande que souhaité, dans le sens du vent ou contre lui. La seule contrainte est *in fine* énergétique : la puissance de la force motrice doit être inférieure à la puissance que fournit le vent à l'ensemble du véhicule.

En termes de forces, cela signifie que le produit de la force motrice par la vitesse



3. PAR VENT ARRIÈRE, ON PEUT DÉPASSER LA VITESSE DU VENT. En effet, si la rotation des roues est utilisée pour faire tourner l'hélice, cette dernière fournit alors une force de propulsion qui accélère le véhicule, même quand il a atteint la vitesse du vent.

du véhicule au sol doit être inférieur au produit de la force du vent par la vitesse relative du vent par rapport à l'engin. Si le véhicule est à l'arrêt, on comprend alors que la force de propulsion peut être très élevée et que l'on peut sans souci remonter le vent à petite vitesse. Pourquoi pas aussi vite que l'on veut ? D'une part, parce qu'une partie de l'énergie éolienne est dissipée par les frottements aérodynamiques sur l'engin ; d'autre part, parce que la conversion de puissance entre l'hélice et les roues motrices ne saurait être parfaite. D'où l'importance de la conception du véhicule.

Avec un rendement énergétique total de 50 pour cent, on trouve que l'on peut remonter le vent à une vitesse égale en module à la vitesse du vent. Est-ce réalisable ? Depuis quelques années, l'*Aeolus Race*, aux Pays-Bas, regroupe des équipes d'universitaires dans une course face au vent. Lors des phases de tests de l'édition de l'an dernier, un nouveau record a été établi avec une vitesse égale à 75 pour cent de la vitesse du vent (légèrement incliné de 20 degrés par rapport à la marche de l'engin). La marge de progression reste donc importante. Peut-être dès cette année, pour l'édition 2012 qui se tiendra à Den Helder du 22 au 25 août ?

Voyons comment on peut utiliser ce dispositif pour aller plus vite que le vent, en

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

M. Gaunaa *et al.*, Theory and design of flow driven vehicles using rotors for energy conversion, *Proceedings EWEC 2009*, Marseille, 2009.

B. L. Blackford, The physics of a push-me pull-you boat, *American Journal of Physics*, vol. 46, pp. 1004-1006, 1978.

Vidéo du véhicule à quatre roues sur un tapis roulant : http://www.youtube.com/watch?v=pw_B2MnMqZs

vent arrière. Dans ce cas de figure, à mesure que le véhicule accélère, la vitesse du vent par rapport au mobile diminue ; il en est donc de même de la puissance fournie par le vent, qui va jusqu'à s'annuler si le véhicule atteint la vitesse du vent. La solution, très astucieuse, est d'inverser le dispositif : les roues, entraînées par le mouvement du véhicule, font tourner une hélice devenue alors propulsive comme dans le cas d'un avion (voir la figure 3).

Imaginons que le véhicule avance à la vitesse du vent (en étant par exemple lancé grâce à une voile au large et en revenant vent arrière). Un bilan d'énergie montre que l'on peut obtenir de l'hélice une force propulsive supérieure à la force exercée par le sol sur les roues. Si nous allons à la vitesse du vent, aucune puissance n'est fournie ou reçue du vent ; en revanche, le moment

de la force de réaction du sol, qui fait tourner les roues du véhicule, peut nous fournir une puissance égale au produit de la composante horizontale de la réaction par la vitesse du véhicule. Pour un rendement total de 50 pour cent, on trouve que l'engin peut atteindre deux fois la vitesse du vent, soit une vitesse relative (par rapport au vent) égale à la vitesse du vent.

En juin 2010, le rendement du *Blackbird* de Rick Cavallaro était encore meilleur, puisque ce véhicule a atteint 2,85 fois la vitesse du vent. Cette première résultait du souhait de cet ingénieur de mettre fin à un débat animé sur la possibilité réelle d'aller plus vite que le vent en vent arrière. Le débat s'était enlisé dans des échanges stériles autour de grands principes. Comme toujours en physique, c'est l'expérience qui a eu le dernier mot.

universcience présente

les **conférences** à la Cité des sciences et de l'industrie

entrée libre

Curiosity sur Mars

[SAMEDI 11 AOÛT À 15H] → Auditorium

Repartons à la découverte de la fascinante planète Mars. À partir des premières images captées par le rover *Curiosity*, quelques spécialistes détailleront les particularités de la mission : le plus gros rover jamais envoyé sur Mars, un mode d'atterrissage inédit, une caméra panoramique, un cratère témoin de la présence d'eau liquide sur la planète...

> Réservation conseillée sur conferences@universcience.fr

programme complet sur www.universcience.fr

En partenariat avec

Avec le soutien de

SAF, CNRS, L'ASTRONOMIE, SCIENCE, CIEL ESPACE, Planet astronomy.com

SCIENCE & GASTRONOMIE

Pas de cru sans précaution

Dans la jungle des micro-organismes, certains sont bénéfiques, d'autres très dangereux. Sachons nous en prémunir en recourant à des produits sanitaires classiques.

Hervé THIS



Les levains sont des préparations capricieuses, que les boulangers cherchent à maîtriser. Ces pâtes un peu molles, faites de farine et d'eau,ensemencées spontanément par des levures sauvages de l'environnement (par opposition aux levures domestiques, que l'on ajoute), fermentent et servent à faire des pains au goût puissant : les goûts d'un pain au levain et d'un pain à la levure domestique peuvent être aussi différents que ceux d'un bolet et d'un champignon de Paris.

Cependant, même quand les conditions de leur développement sont réunies (temps chaud et humide, par exemple), les levains ne se font parfois pas, et les boulangers recourent à des expédients variés : ajouts de raisins secs, de pomme, de figue... Chaque région a son truc... avec parfois des pièges : par exemple, certains raisins secs blonds sont traités par du dioxyde de soufre, composé qui tue les micro-organismes !

Pour quelques micro-organismes bénéfiques (utiles pour faire pains, saucissons, yaourts, vins, bière...), il y a beaucoup de micro-organismes pathogènes. Telles sont notamment certaines variétés d'*Escherichia coli* (O157:H7), qui sont entérohémorragiques et dont on sait aujourd'hui qu'elles prolifèrent même sur des métaux... où leur survie semble pourtant difficile.

Escherichia coli O157:H7 est reconnue comme un pathogène de l'alimentation depuis 1982. Cette bactérie produit des toxines qui causent des colites hémorragiques et des syndromes urémiques hémolytiques. On sait aujourd'hui que les bovins sont les principaux réservoirs de la bacté-

rie, que la principale source d'infection est la viande de bœuf et que le micro-organisme peut passer du bœuf aux autres aliments par les ustensiles de cuisine. Comment ?

Cette question vient d'être réexplorée par Makiko Tsuji et Kumio Yokoigawa, à l'Université de Tokushima, à partir de cultures de diverses souches et d'échantillons de divers matériaux : acier inoxydable, titane, verre, aluminium, polymères... La souche P98, par exemple, s'attache mieux à l'acier inoxydable qu'au titane, et mieux au titane qu'au verre, mais elle se lie très peu à l'aluminium ou aux matières plastiques.

À la surface de la viande, les micro-organismes ont accès au tissu collagénique qui gaine les fibres musculaires, mais aussi à la matière grasse et au sang, lequel contient notamment de l'eau et de l'albumine sérique (une protéine). Les biologistes ont testé certains de ces composés. L'albumine sérique ne modifie pas l'adhérence, mais la graisse réduit la contamination des matériaux testés (les micro-organismes ne se fixent pas sur les matériaux hydrophobes). Quand les surfaces sont lavées deux fois à l'eau chaude (60 °C), le nombre de bactéries fixées aux surfaces est similaire, et l'eau sans détergent est peu efficace.

La fixation pouvait-elle être indirecte et due à une association avec d'autres bactéries ? Les biologistes japonais ont étudié la protéine SdiA du cytosol qui se lie aux lactones N-acyl-L-homosérine des bactéries Gram-négatives (particulièrement nocives). La question était de savoir si la protéine bloquerait l'attachement aux divers matériaux. Les biologistes ont donc prétraité les surfaces

par immersion dans une solution de la protéine, puis mesuré la fixation des bactéries : le nombre de bactéries fixées n'était pas modifié. Le mécanisme de la fixation reste opaque.

Les cuisiniers savent maintenant que, pour *Escherichia coli* H157:H7, les ustensiles les plus sains sont les matières plastiques et l'aluminium. La matière grasse que l'on déposait naguère sur les poêles de fer, afin d'empêcher leur oxydation, semble éviter l'adhérence de la bactérie... au prix d'un rancissement qui ne devait pas être de toute salubrité.

Toutes ces études confirment que manger cru, sans décontamination des ingrédients alimentaires, n'est pas un bon choix : le feu fut sans doute une innovation utile dans l'évolution humaine, parce qu'il tuait les micro-organismes... en plus de donner du goût. On n'oubliera pas non plus que les tests de la contamination des appartements des citadins ont montré que les micro-organismes fleurissent dans les cuisines alors qu'ils sont absents des toilettes, où l'on n'hésite pas à utiliser des produits antibactériens efficaces. La volonté de protéger l'environnement en évitant l'eau de Javel et ses cousins est discutable ! ■



Hervé This est 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 Hervé This sur www.pourlascience.fr