

# L'effet lotus

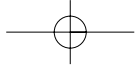
*Comment faire pour que l'eau glisse sur une surface sans la mouiller ? Le lotus ou le canard ont trouvé la solution. L'homme y parvient à son tour, et découvre des gouttes aux propriétés très inhabituelles.*

Mathilde Reyssat • David Quéré

**D**ans son *Histoire naturelle*, parue en 77, Pliny l'Ancien relève la tendance des gouttes à former des sphères. Partout, nous dit-il, on les voit s'arrondir ainsi, et le plus simple moyen de le montrer consiste à « jeter de l'eau sur de la poussière, ou sur la surface pelucheuse des feuilles ». On notera la finesse de l'observation : pour qu'une goutte d'eau reste ainsi sphérique sur un solide, il faut que ce dernier ait une surface spéciale, couverte de petites aspérités ou de micro-poils, souvent à peine visibles, et qui seront responsables de cette hydrophobie renforcée. C'est « l'effet lotus », le lotus étant une des plantes dont les feuilles sont très peu mouillées par l'eau (voir la figure 1). On devine l'intérêt pratique qu'il peut y avoir à synthétiser de tels matériaux : les gouttes les fuient, et ils restent secs après une exposition à l'eau. Stimulés par les applications potentielles (bétons ou verres hydrophobes, pare-brise antipluie, revêtement antigivre, lunettes antibuée), les chimistes et les physiciens ont multiplié depuis une dizaine d'années les procédés pour fabriquer de telles surfaces, et mis en évidence les comportements excentriques des gouttes dans une telle situation. Nous passerons d'abord en revue les propriétés statiques de la superhydrophobie, avant d'en décrire les aspects dynamiques.

Pour comprendre ces phénomènes, il est utile de commencer par la situation hydrophobe la plus extrême, qu'on nomme la caléfaction. Ce phénomène fut décrit il y a tout juste 250 ans par le physiologiste allemand Johann Gottlob Leidenfrost, qui publia en 1756 un traité remarquable sur les gouttes d'eau. La partie la plus célèbre de cet ouvrage concerne le comportement des liquides sur des plaques très chaudes – l'eau sur de l'acier à 300 °C, par exemple. Les gouttes sont alors extrêmement mobiles, et n'entrent pas en ébullition.





**1. L'eau ne mouille pas la feuille de lotus**  
après la pluie : les gouttes restent dispersées, et leur angle de contact avec la surface est très élevé. Les plus petites d'entre elles sont quasi-sphériques ; les grosses, elles, sont aplaties par la pesanteur.



Si on les maintient captives (Leidenfrost utilisait pour les piéger des petites cuillères chauffées à blanc), les gouttes durent souvent plusieurs minutes, bien plus longtemps que la température de leur support ne le suggérerait. Leidenfrost interpréta correctement ces expériences : un film de vapeur s'intercale entre la goutte et la plaque chaude, et maintient la goutte suspendue, telle un petit aéroglisseur. D'où sa mobilité extraordinaire, et son évaporation ralentie, à cause du pouvoir isolant de la couche de vapeur. Pour une goutte millimétrique, l'épaisseur de cette couche, que Leidenfrost évalua en plaçant une bougie par derrière et en observant le rai de lumière filtrant sous la goutte, est de l'ordre de 0,1 millimètre. Cette épaisseur résulte d'un compromis entre deux phénomènes antagonistes : la goutte nourrit le film de vapeur en s'évaporant, mais, en même temps, son poids appuie sur la vapeur et la chasse.

Les gouttes ordinaires, cependant, sont bien différentes des gouttes de Leidenfrost. Au contraire de ces dernières, elles restent le plus souvent collées à leur support, même pentu. Et si elles dévalent la pente, leur vitesse reste en général très modeste, autour du centimètre par seconde. Ces deux propriétés sont liées à l'existence, pour ces gouttes banales, d'une ligne de contact – la ligne qui borde le globule de liquide sur le solide, et où solide, liquide et

air se rencontrent. Cette ligne a la propriété de s'accrocher sur les défauts du solide, et donc de permettre une certaine adhésion des liquides. En outre, l'épaisseur de liquide devient très faible près de la ligne, si bien que la force visqueuse (la force de frottement qui s'oppose au mouvement, et qui est inversement proportionnelle à l'épaisseur de liquide) y est très grande, ce qui donne à ces petites carapaces de liquides l'allure de tortue que nous leur connaissons.

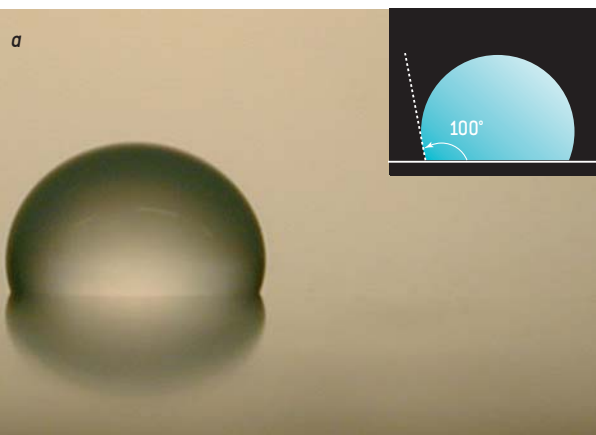
Il serait intéressant de réaliser « à froid » des situations de Leidenfrost, où un film d'air ou de vapeur s'intercale entre la goutte et le solide. Pour s'en rapprocher, une idée est de rendre le solide rugueux, de façon à ce que l'eau posée sur la surface ne la touche que par les sommets des aspérités, et se retrouve ainsi majoritairement en contact avec de l'air. Mais rendre un solide rugueux ne suffit pas : si le solide est plutôt mouillant pour le liquide, celui-ci choisira au contraire d'imprégner les espaces présents entre les aspérités du solide, de façon à rendre maximale la surface de contact liquide-solide. On nomme « état de Wenzel », du nom de l'ingénieur qui le décrit le premier en 1936, cet état où un liquide imprègne la texture d'un solide (voir la figure 4b). On réalise ainsi un état supermouillant (le liquide épouse la surface du solide), et superadhésif (les aspérités, mouillées par le liquide, retiennent celui-ci), à l'opposé de ce que l'on discute ici.

La première étape pour réaliser un solide très hydrophobe consiste donc, logiquement, à partir d'un matériau chimiquement hydrophobe : par définition, l'eau rejoint un tel matériau avec un angle de contact obtus, supérieur à 90 degrés (voir la figure 2a). Les cires, le téflon réalisent un tel état. Des solides hydrophiles (tels le verre ou les métaux) peuvent être rendus hydrophobes en les faisant réagir avec des silanes, molécules carbonées et parfois fluorées, qui s'organisent en une monocouche compacte à la surface du solide (comme un gazon d'épaisseur nanométrique), et suffisent à en modifier les propriétés de surface. En choisissant des molécules assez hydrophobes, obtiendrait-on un « matériau de Leidenfrost » sur lequel l'angle de contact serait de 180 degrés ? Il n'en est rien : avec les espèces chimiques les plus hydrophobes que l'on connaisse (des molécules fluorées), l'angle de contact ne dépasse pas 120 degrés, bien loin de sa valeur ultime de 180 degrés – si bien que les gouttes correspondantes se comportent de façon assez semblable à ce que l'on observe sur des matériaux plus banals (des plastiques, par exemple).

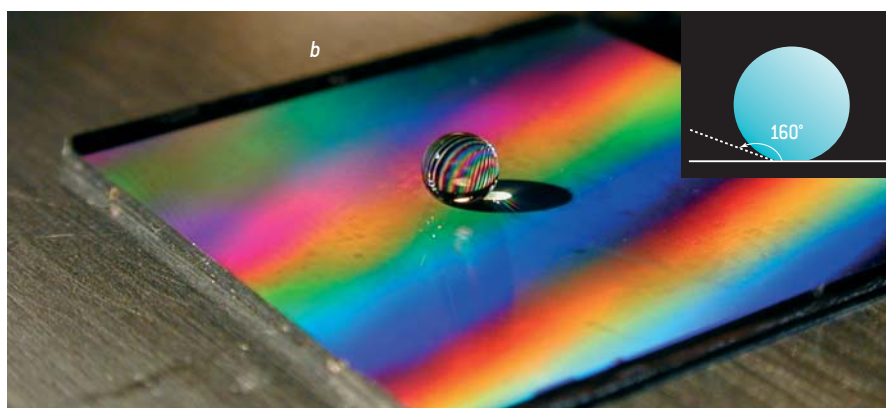
## Une texture microscopique est nécessaire

Il faut donc également que la surface de ces matériaux soit texturée, comme Plinie l'Ancien l'avait compris. Depuis cinq ans, une bonne centaine de méthodes ont été proposées pour réaliser de telles structures. Certaines sont d'ailleurs très bon marché : en passant un morceau de verre au-dessus de la flamme d'une allumette, on le voit se noircir, à cause du dépôt d'une couche de suie à sa surface. La suie est un agglomérat de microparticules de carbone, qui structure donc la surface du verre tout en la rendant hydrophobe.

**2. Lorsqu'une goutte d'eau millimétrique** est posée sur une surface hydrophobe lisse [a, sur une surface en téflon], l'angle de contact entre la goutte et son support solide dépasse légèrement 90 degrés. Cet angle atteint 160 degrés sur la deuxième surface [b]. Celle-ci, en silicium recouvert d'un polymère fluoré, n'est pas lisse, mais constituée d'un réseau ordonné de plots de taille micrométrique. Ce réseau rend la surface superhydrophobe. Il est aussi à l'origine des irrégularités de la surface.



sauf mention contraire les photographies sont des auteurs.





Lei Jiang

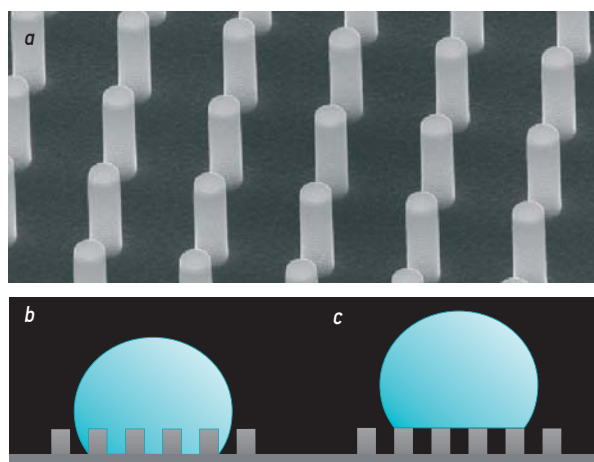
**3. Les pattes du gerris** [ici de l'espèce *Gerris lacustris*] ne s'enfoncent pas dans l'eau, ce qui permet à cette punaise aquatique de courir et même de sauter sur la surface des mares. Ces pattes sont munies de soies microscopiques (photographie ci-contre), structure responsable de la superhydrophobie.

De fait, une goutte d'eau posée sur de la suie a un angle très supérieur à 120 degrés, de l'ordre de 160 à 170 degrés ; cela prouve que la présence d'une microtexture amplifie l'hydrophobie naturelle du matériau (voir la figure 2b).

De très nombreuses substances naturelles ont cette propriété de superhydrophobie, et leur analyse physico-chimique a montré qu'elles résultent bien toutes de la juxtaposition d'une chimie favorable (des cires, le plus souvent) et de microstructures. En 1997, deux botanistes allemands, Wilhelm Barthlott et Christoph Neinhuis, ont répertorié environ 200 plantes superhydrophobes (le critère étant un angle de contact supérieur à 140 degrés), parmi lesquelles figurent, outre le lotus, la tulipe, le magnolia ou le ginkgo. Un certain nombre d'animaux ont aussi tout ou partie de leur corps superhydrophobe, pour des raisons faciles à comprendre : le canard pourra ainsi sortir sec de la mare, et le gerris (un genre de punaise aquatique) déambuler à sa surface, voire y sauter, sans que jamais ses pattes ne s'enfoncent dans l'eau.

De tous les systèmes naturels connus, c'est la patte du gerris qui réalise l'angle de contact avec l'eau le plus élevé ; cet angle est probablement supérieur à 175 degrés, quoiqu'il soit difficile de mesurer ces angles dans cette limite. La microscopie électronique révèle qu'une telle patte présente des structures en pointes, à l'échelle du micromètre, et parfaitement organisées (voir la figure 3).

Des structures analogues sont fabriquées depuis peu en laboratoire (voir la figure 4a) ; les premières ont été réalisées en 1999 par José Bico, au Collège de France, et Christian Marzolin, de la Société Saint-Gobain, puis en 2000 par Thomas McCarthy, de l'Université du Massachusetts à Amherst. Les techniques de microlithographie permettent d'obtenir de telles surfaces à plots microscopiques, avec la possibilité d'ajuster les paramètres (hauteur, diamètre, distance des plots), ce qui permet de rechercher des surfaces aux propriétés optimales. D'autres solutions ont été proposées, par exemple recouvrir la surface de nanotubes de car-

Victor Bos, <http://www.victorbos.nl/>

**4. Pour qu'une surface soit superhydrophobe**, elle doit comporter des aspérités microscopiques en densité suffisante. Les techniques de microlithographie permettent de fabriquer de façon bien contrôlée de telles surfaces en silicium [a, la hauteur et la distance entre piliers valant ici dix micromètres]. Sur une telle surface, deux états de mouillage sont possibles : l'état de Wenzel [b], où le liquide épouse la surface du support, et l'état fakir [c], où la goutte repose en grande partie sur de l'air.

bone que l'on fait pousser perpendiculairement au support, et qui le décorent comme une forêt de nano-arbres.

Sur toutes ces surfaces, les gouttes d'eau adoptent en général la forme sphérique, en rejoignant le support avec un angle très élevé. On peut montrer que cet angle est une moyenne de l'angle sur une surface chimiquement identique, mais plate (que nous avons vu être égal à 120 degrés au plus), et de l'angle sur de l'air (180 degrés, comme on le sait depuis Leidenfrost), les facteurs de pondération de la moyenne étant déterminés par les proportions relatives de solide et d'air sous le liquide. Un paramètre crucial est donc la densité de plots sous la goutte, les effets superhydrophobes apparaissant quand la surface supérieure des plots représente moins de dix pour cent de la surface apparente. Nous avons proposé de qualifier d'« état fakir » cette situation où le liquide est posé sur la forêt de plots comme un fakir sur son tapis de clous (voir la figure 4c).

## Éviter que la goutte fakir s'empale sur son tapis de « clous »

On est tenté de réduire la proportion de plots, pour augmenter encore la fraction d'eau posée sur de l'air. Mais on devine ce qui risque de se passer : à trop diluer les « clous », notre goutte fakir va s'empaler dans la structure, et réaliser l'état adhésif de Wenzel décrit plus haut.

Il ne s'agit pas seulement de réaliser un état fakir, il faut aussi rendre celui-ci robuste, capable de résister à l'empalement. À l'inverse, il peut être intéressant d'induire une telle transition, par exemple pour arrêter et ancrer une goutte à l'issue de sa course. Un moyen de quantifier la robustesse d'une goutte fakir, mis en œuvre en 2003 par Aurélie Lafuma, au Collège de France, consiste à l'aplatir avec une surface identique, un même tapis de « clous ». À faible pression, rien ne se passe ; mais au-delà d'un seuil de pression (de l'ordre de 200 pascals pour la surface de la

figure 4), l'enfoncement se produit. Il se manifeste par un changement d'angle de contact, mais surtout par ce qui arrive lorsqu'on écarte les deux solides : à cause de l'accrochage sur (ou dans) chacune des surfaces, le liquide se scinde en deux lentilles, qui rejoignent leur support avec un angle aigu – une propriété paradoxale sur un matériau hydrophobe, mais qui témoigne bien de la force de l'ancrage.

On s'est demandé ce qui fixe cette pression critique. L'idée prévalente est la suivante : les interfaces liquide-air sous la goutte (entre les plots) sont presque planes à l'échelle des défauts de surface, car elles ont la même courbure que la goutte elle-même (cette courbure fixe la pression interne du globule, qui, à l'équilibre, est constante). Quand on appuie, on courbe ces interfaces, jusqu'à, si l'on appuie assez fort, les plaquer au « fond ». Or, sur ces surfaces hydrophobes, l'état de Wenzel est souvent plus stable que l'état fakir : l'ensemble des petites poches d'air conduit à une énergie de surface très élevée, à cause des nombreuses interfaces liquide-air. Dès lors, une fois le contact liquide-solide établi, l'eau envahit la structure et s'y incruste, pour minimiser l'énergie de surface.

Une conséquence importante de ce scénario est qu'il fournit la parade pour réaliser un état fakir robuste, où de telles transitions ne se produisent plus : il suffit d'augmenter la hauteur des piliers. Alors, même si l'on appuie fortement, le liquide n'atteint plus le fond ; et même s'il le faisait, l'état de Wenzel ne serait cette fois plus favorable, puisqu'il exige de l'eau qu'elle se conforme à un matériau hydrophobe de grande superficie (à cause de la hauteur des plots), ce qui est défavorable. Là réside le secret de l'efficacité de la patte du gerris. Les microstructures artificielles réalisées depuis (soit sous la forme de piliers très hauts, soit au moyen de nanotubes de carbone) ont bien montré une très forte résistance à l'empalement, la pression critique pour incruster la goutte étant même trop élevée pour être mesurée.

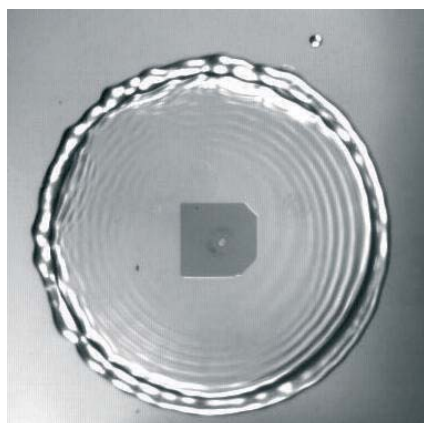
Si l'on revient à des échantillons aux microstructures moins hautes, on peut au contraire chercher à tirer parti de la coexistence de l'état fakir et de l'état de Wenzel. On s'est beaucoup intéressé, depuis trois ans, à la transition de mouillage entre ces deux états. On a d'abord, au-delà de

l'expérience de pression citée, cherché à contrôler cette transition. On peut y parvenir en appliquant un champ électrique, qui favorise l'étalement, ou en laissant les gouttes s'évaporer (une petite goutte, de plus grande courbure, aura tendance à s'empaler). On peut aussi projeter ou faire tomber la goutte sur le support. Si la vitesse d'impact dépasse un certain seuil, une partie de la goutte s'imprime dans la texture (voir la figure 5). Dans une telle expérience, on voit une goutte d'eau millimétrique s'étaler par inertie sur une surface centimétrique ; au centre apparaît une zone sombre et presque carrée, qui témoigne de l'enfoncement (partiel) de la goutte : comme dans un buvard, le matériau fonce là où il est imprégné, et cette imprégnation révèle elle-même la structure ordonnée à l'échelle micrométrique du matériau, puisqu'elle en reproduit le motif (sauf dans des coins, où les déformations sont très coûteuses en termes d'énergie de surface).

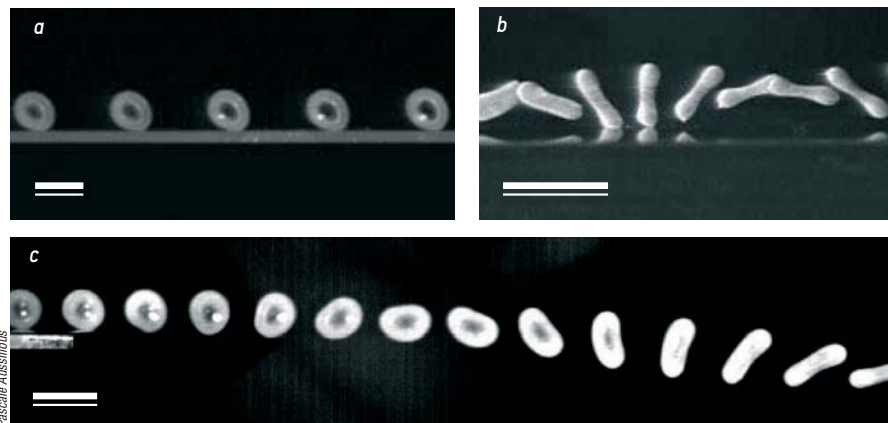
## Poudrer une goutte...

Parler d'impact nous conduit naturellement à ce qui rend les surfaces superhydrophobes si spectaculaires : leur comportement dynamique. Nous considérerons désormais uniquement des surfaces superhydrophobes robustes, pour lesquelles l'état fakir est stable (ce qui correspond, comme on l'a vu, à des plots assez hauts et assez nombreux en proportion). Les gouttes, à l'instar des gouttes de Leidenfrost, adhèrent très peu à ces surfaces, et n'interagissent avec elles que *via* la surface supérieure des plots, en général moins de dix pour cent de la surface plane de base : 90 pour cent du contact s'effectue avec l'air, sur lequel il n'y a aucun accrochage. On peut être plus précis et comparer, sur un matériau incliné, le volume de liquide nécessaire pour qu'une goutte se décroche. Sur une surface donnée, on trouve que ce volume est typiquement 100 fois inférieur pour une goutte fakir que pour une goutte de Wenzel, ce qui traduit bien la mobilité incomparable de l'état fakir.

Pascale Aussillous, au Collège de France, a montré en 2001 que l'on peut encore amplifier le non-mouillage en saupoudrant préalablement le solide de particules hydro-

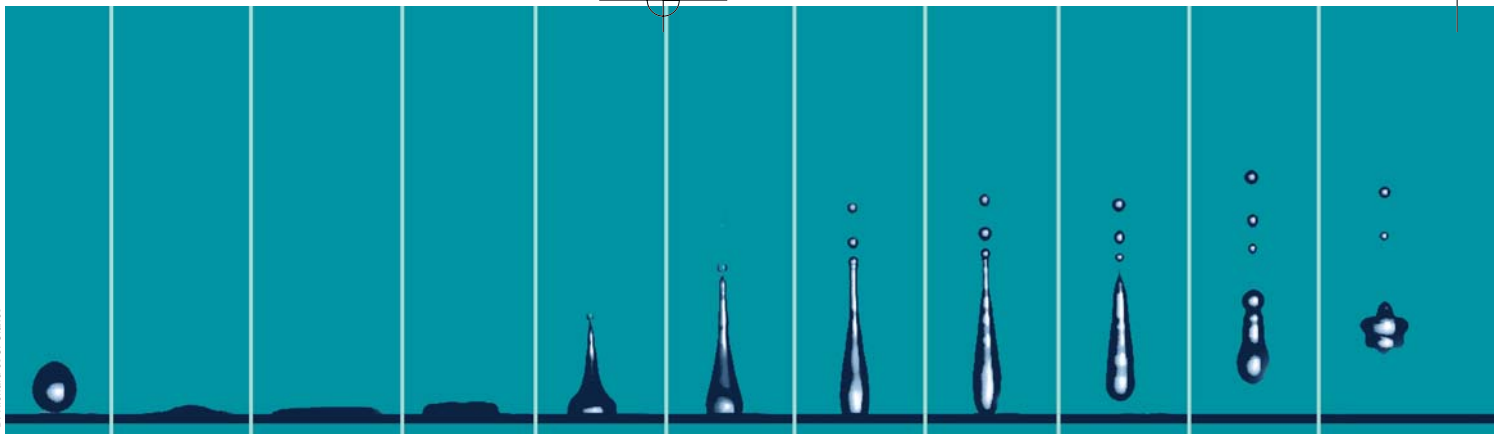


**5. L'impact** d'une goutte d'eau millimétrique tombant sur un substrat texturé à la vitesse de un mètre par seconde, vu du dessus. La tache noire centrale est due à la pénétration de l'eau dans le substrat, constitué d'un réseau carré de plots micrométriques (semblable à celui de la figure 4).



**6. Une bille liquide** visqueuse dévalant un plan incliné (d'une trentaine de degrés dans ces photographies redressées du même angle) se déforme et adopte deux états possibles. La vitesse élevée de la goutte, jointe au fait qu'elle roule, crée des forces centrifuges assez grandes pour que le globule sphérique qu'elle était au début de sa course prenne la forme d'une roue [a] ou d'un haltère [b]. Si une roue quitte son support [c], elle finit par se pincer et devenir un haltère, de plus faible surface. [La barre d'échelle correspond à un centimètre.]

D. Richard et C. Claret



**7. Impact et rebond d'une goutte d'eau millimétrique** sur une surface superhydrophobe. La goutte, qui frappe le solide à une vitesse dépassant un mètre par seconde, s'étale d'abord par inertie, avant

de se rétracter pour fuir le solide. En résulte une sorte de quille liquide, qui décolle en émettant quelques gouttelettes satellites et en oscillant fortement. Les clichés successifs sont séparés d'une milliseconde environ.

phobes d'une taille comprise entre 1 et 50 micromètres : de la suie, des spores de lycopodes ou de fougères, des billes de silice traitées par des silanes, ou plus simplement de la poussière, comme observé par Plin. Une goutte d'eau posée sur cette poudre très fine y roulera (pour peu qu'il y ait une pente) et se couvrira de grains. Ainsi poudrée, la bille liquide devient insensible à son support, qu'elle ne touche plus, séparée de lui par la couche de grains. Le simple dépôt préalable d'une poudre est ainsi un moyen d'engendrer une superhydrophobie non permanente, applicable sur n'importe quel support – à l'instar de ce qui se fait sur les pare-brise avec des produits siliconés, mais avec une hydrophobie résultante bien plus élevée.

### ...et la faire rouler

Le dévalement de ces billes molles permet de se convaincre du caractère très inhabituel de leur dynamique. Même si l'espèce liquide considérée est très visqueuse (du glycérol, ou du miel), les gouttes dévalent les pentes avec une vitesse souvent 100 à 1000 fois supérieure à celles observées sur des surfaces usuelles, de plastique par exemple. Ces mouvements rapides ont parfois d'étonnantes conséquences. Dans l'une des expériences réalisées, des gouttes liquides, de viscosité 300 fois supérieure à celle de l'eau, dévalent un plan incliné d'une trentaine de degrés par rapport à l'horizontale. La vitesse de la goutte est alors d'environ un mètre par seconde (c'est sa vitesse terminale, qui résulte d'un équilibre entre son poids et les forces de frottement agissant sur elle), et sa forme est très différente de la sphère qu'elle était initialement (voir la figure 6). On observe même deux allures possibles : soit la goutte est une sorte de cacahuète ou d'haltère, qui virevolte et bondit en même temps, soit elle forme une roue liquide. La présence des grains, qui marquent la surface, prouve que ces globules roulent sur le solide ; et c'est cette rotation, jointe à une vitesse élevée, qui façonne ainsi ces objets.

Il y a environ un siècle, Henri Poincaré a été le premier à décrire la forme d'une goutte en rotation, et l'on conçoit que la roue (résultat de l'évolution d'une sphère aplatie aux pôles, devenant un disque qui finit par se trouer) comme l'haltère (qui témoigne de la possibilité pour le globe de se scinder en deux morceaux) soient bien des formes naturelles pour une masse déformable soumise à un champ de forces centrifuges. Plus tard, l'astrophysicien indien Subrahmanyan Chandrasekhar remarqua que seule la forme d'haltère devrait exister, car elle présente une surface moindre. En réalité, les deux formes sont possibles, mais la roue est plus instable : si elle quitte son support (qui se révèle donc être la cause, encore mal comprise, de

sa stabilisation), elle se pince et se transforme irréversiblement en haltère (voir la figure 6c).

D'un point de vue pratique, ces formes ne font pas que témoigner de la vitesse du mouvement. Elles réalisent aussi des états compacts, qui permettent, là où d'habitude le mouvement produit un dépôt (comme on le voit pour une goutte de pluie zigzaguant sur une vitre, ou pour une larme sur une joue), que le solide reste sec après le passage du liquide : non seulement le mouvement est rapide, mais il se produit sans la moindre fuite, la dynamique s'associant ici à la statique pour préserver le caractère superhydrophobe de ces situations.

On observe un comportement tout aussi inhabituel lors d'un impact. Nous avons vu qu'une partie de la goutte peut s'imprimer dans la texture de la surface – mais cela ne se produira que pour des surfaces fakir « fragiles », c'est-à-dire aux structures courtes et peu nombreuses en proportion. Pour des surfaces munies d'une texture plus dense, on observe le même phénomène que sur une plaque très chaude : la goutte est comme repoussée par la surface, sur laquelle elle rebondit à la façon d'une balle élastique (voir la figure 7).

On peut se demander pourquoi le rebond n'est pas observé avec des surfaces plus banales. Le début de l'impact est le même : la goutte commence par s'étaler, sous l'effet de son inertie. Mais la friction liée à cet étalement (et à la phase de rétraction qui peut suivre) est très grande, à cause de la présence d'une ligne de contact en mouvement, au voisinage de laquelle les frottements d'origine visqueuse sont considérables (comme nous l'avons souligné plus haut, pour une goutte en simple dévalement). Au contraire, pour des gouttes qui ne mouillent pas leurs supports, ces effets de friction sont presque négligeables, ce qui permet à la goutte étalée sous l'effet du choc de se recomposer, et de décoller.

On remarque aussi que ces phases d'étalement et de reconstitution, d'autant plus amples que la vitesse d'impact est élevée, engendrent une fragmentation partielle de la goutte. Se construit, au moment du décollage, une sorte de quille liquide, qui se déstabilise spontanément en gouttelettes, comme le font généralement les jets d'eau : une série de gouttes a moins de surface que le cylindre dont elle est issue, si bien que les forces de cohésion du fluide (qui agissent de façon à minimiser la surface de la masse d'eau) favorisent cette fragmentation. Cependant, d'un point de vue pratique, le résultat escompté est atteint : même si l'on cherche à le mouiller, un substrat superhydrophobe reste sec. C'est probablement l'une des raisons qui ont amené un certain nombre de plantes à adopter un tel revêtement : elles renvoient ainsi l'eau de pluie, qui pourrait les noyer, vers le sol où elle est absorbée.

On comprend donc aujourd'hui assez bien les mécanismes de la superhydrophobie, et les dynamiques anormales qui en résultent. Alors à quand des vitrages, des bétons ou des tissus superhydrophobes ? Les principaux obstacles concernent le vieillissement de ces matériaux : les microcavités à la surface du solide peuvent se polluer (en accueillant les huiles en suspension dans l'air). Non seulement le matériau perd alors ses propriétés, mais il est aussi, par construction, très difficile à nettoyer. En outre, si l'on connaît au moins une centaine de procédés différents pour microstructurer une surface hydrophobe, on ignore encore quel est le dessin optimal à donner aux microstructures pour une application donnée (antipluie, antibuée, antigivre, antisalissure), et compte tenu de possibles contraintes supplémentaires (transparence du matériau, effet de couleur, etc.).

## Vers des superglissements

Mais les applications les plus prometteuses seront peut-être plutôt liées à une propriété établie expérimentalement il y a quelques mois seulement, dans l'équipe de Jonathan Rothstein à Amherst : le glissement que ces surfaces engendrent vis-à-vis de l'eau. Là encore, la distinction entre les deux états superhydrophobes (état fakir et état empalé) est centrale. On sait en effet depuis quelques années que l'eau peut glisser quand on la fait couler sur une surface lisse hydrophobe : mais l'amplitude du glissement reste modeste, et ses caractéristiques précises sont encore l'objet de débats. Lorsque la surface est texturée, Cécile Cottin-Bizonne et ses collègues, à l'Université de Lyon, ont montré en 2003 que

le glissement est fortement amplifié, à la condition exclusive d'être dans l'état fakir, ce que les expériences de J. Rothstein ont confirmé. On peut ainsi engendrer des matériaux offrant une friction très réduite, et ces effets sont d'autant plus spectaculaires que la dimension de l'écoulement est elle-même petite. Un canal de 100 micromètres d'un dispositif microfluidique pourrait être ainsi décoré d'une microtexture permettant un écoulement largement facilité, alors que ces petites échelles entravent habituellement le déplacement des liquides. Les matériaux superhydrophobes de type « fakir » pourraient bien être non seulement non adhésifs, mais aussi superglissants.

**David QUÉRÉ** est directeur de recherches au CNRS et travaille au Laboratoire de physique et mécanique des milieux hétérogènes (PMMH, UMR 7636 du CNRS), à l'École supérieure de physique et chimie industrielles de la Ville de Paris (ESPCI), où **Mathilde REYSSAT** achève sa thèse de doctorat.

CD-Rom *Interfaces mobiles*, in *Gouttes, bulles, perles et ondes*, P.-G. de Gennes, F. Brochard-Wyart et D. Quéré, 2<sup>e</sup> édition, Belin, 2005.

J. OU et al., *Laminar drag reduction in microchannels using ultrahydrophobic surfaces*, in *Physics of Fluids*, vol. 16, pp. 4635-4643, 2004.

A. LAFUMA et D. QUÉRÉ, *Superhydrophobic states*, in *Nature Materials*, vol. 2, pp. 457-460, 2003.

P. AUSSILLOUS et D. QUÉRÉ, *Liquid marbles*, in *Nature*, vol. 411, pp. 924-927, 2001.

Ch. NEINHUIS et W. BARTHLOTT, *Characterization and distribution of water-repellent, self-cleaning plant surfaces*, in *Annals of Botany*, vol. 79, pp. 667-677, 1997.



## GRAINS DE SCIENCE

VOYAGE AUX CONFINS DES DÉSERTS

DU 11 AU 22 OCTOBRE 2006  
PLACE DU TROCADÉRO

EXPOSITIONS, ANIMATIONS,  
CONFÉRENCES, FILMS...

EN PARTENARIAT AVEC **MAIRIE DE PARIS**

POUR S'INSCRIRE

[www.cnrs.fr](http://www.cnrs.fr)



L'EXPRESS

CNRS

info

le Monde

EURELIS

SCIENCE