

Des gouttes pointues?

Parfaitement rondes dans l'air, les gouttes peuvent prendre l'apparence de larmes lorsqu'elles glissent sur une surface. Petite démonstration autour d'un évier.

> PAR JOSÉ BICO, MAÎTRE DE CONFÉRENCES À L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE INDUSTRIELLES, PARIS

Ouvrons doucement le robinet de l'évier : des gouttes d'eau millimétriques s'en détachent. Augmentons le débit : un jet cylindrique se forme. Un peu plus bas, le jet se découpe en un chapelet de petites gouttes sphériques. Fermons le robinet. Dans l'évier, la surface de l'eau est plate, sauf à la périphérie où un ménisque de liquide monte légèrement sur la paroi de l'évier. Ce ménisque (du grec *mêniskos*, «petite lune») possède également un profil arrondi et une taille caractéristique millimétrique. Quelques gouttes retardataires se détachent du robinet. Leur impact sur l'eau produit de belles ondes circulaires qui s'atténuent rapidement.

Le poivrier, qui était mal rangé sur une étagère au-dessus de l'évier, tombe malencontreusement et verse son contenu sur l'eau. Curieusement, les particules de poivre moulu flottent, bien qu'elles soient plus denses que le liquide. Après quelques éternuements, nous décidons de verser un peu de liquide vaisselle sur la surface de l'eau (toujours tapissée de grains de poivre). Un trou, circulaire à nouveau, s'ouvre très rapidement : les grains de poivre sont chassés par le savon. Ajoutons un peu plus de savon, les grains coulent. Archimède avait bien raison !

Commençons à faire la vaisselle. En agitant l'eau, nous entraînons de l'air qui remonte à la surface sous forme de bulles sphériques. Sommes-nous condamnés à n'observer que des formes arrondies lors de nos expériences ? Les bulles d'eau savonneuse s'accumulent progressivement à la surface et finissent par former une mousse. Encore des bulles sphériques ? Vérifions cela avec une loupe : les bulles aux belles irisations sont facettées. Enfin des angles !

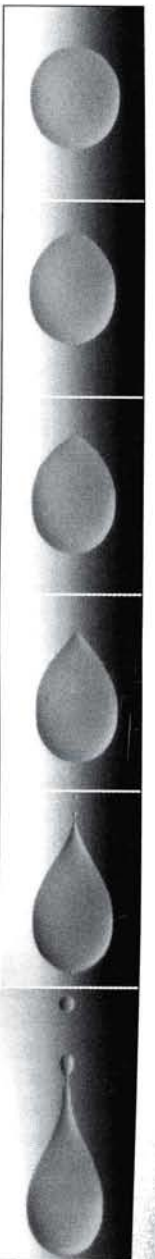
Vient l'étape du rinçage. Les ustensiles de cuisine ressortent mouillés ; ils emportent avec eux un film d'eau que nous devons égoutter. Essayons d'accélérer ou de ralentir le mouvement : plus nous retirons les ustensiles lentement, moins la quantité d'eau entraînée est importante. La poêle antiadhésive ressort même sèche. Retirons-la un peu plus rapidement : le film d'eau entraîné éclate très vite en une multitude de calottes sphériques. Inclignons la poêle : les gouttes se mettent à glisser sur la surface et prennent de magnifiques formes de larmes, bombées à l'avant et pointues à l'arrière. Ces gouttes pointues sont délicates. Augmentons leur vitesse : elles se vident progressivement dans une traînée de minuscules calottes sphériques.

**UN SYSTÈME
TEND À
MINIMISER
SON ÉNERGIE**

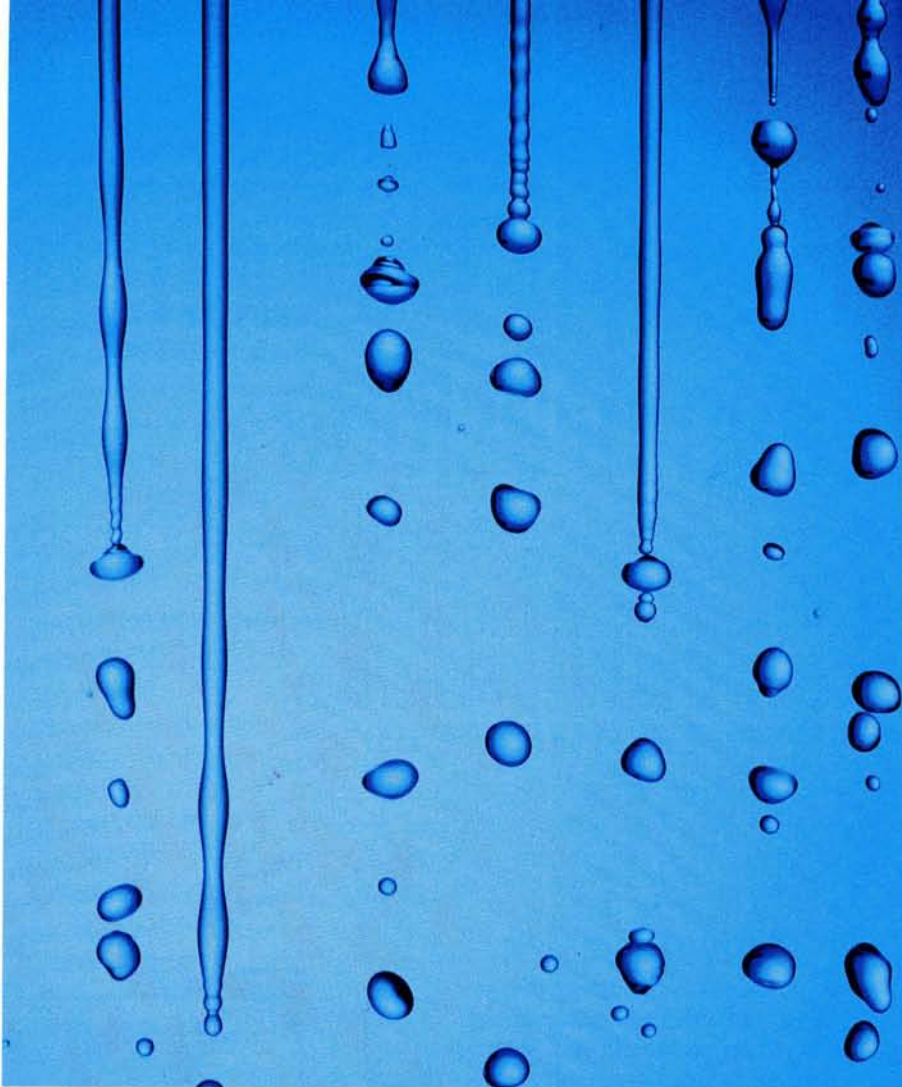
Des gouttes parfaitement sphériques. Dans un liquide ou un solide, les molécules s'attirent les unes les autres, ce qui leur permet de vaincre l'agitation thermique, qui favoriserait l'état gazeux. Sectionner ce liquide en deux pour créer une interface conduit à couper ces liens moléculaires, ce qui se traduit par une énergie de surface. Cette dernière est proportionnelle à l'aire de l'interface et à un coefficient dénommé tension de surface, qui dépend des deux phases considérées. Pour le couple eau-air, ce coefficient vaut 72 mJ/m^2 . D'une manière générale, un système tend à minimiser son énergie. Dans le cas où l'énergie de surface domine les autres termes (énergie potentielle de gravité ou énergie cinétique, par exemple), l'interface adopte une forme sphérique, puisque pour un volume donné cette forme permet de minimiser la surface. Contrairement aux idées reçues, une goutte de pluie est donc pratiquement sphérique. Autre conséquence, un jet d'eau ou un film de rosée

sur une toile d'araignée se déstabilisent en chapelets de gouttes. En termes de force, une interface se comporte comme une membrane tendue. Ainsi, une bulle de savon représente l'analogie d'un ballon de baudruche : perçons-la et elle éclate !

Longueur capillaire et mouillage. À l'aide d'une seringue, posons des gouttes de tailles croissantes sur une surface. Les plus petites prennent la forme de calottes sphériques, ce qui minimise leur énergie de surface, mais les plus grosses s'aplatissent sous leur propre poids. Continuons à augmenter leur volume, nous finissons par obtenir des flaques d'épaisseur constante : la gravité l'emporte sur la capillarité. La comparaison de l'énergie de surface avec l'énergie potentielle de gravité permet de définir une longueur caractéristique au-delà de laquelle les effets de la tension de surface deviennent négligeables. Cette longueur capillaire vaut environ trois millimètres pour une interface eau-air ; c'est la taille typique d'un ménisque ou de l'épaisseur d'une flaque. Sur terre, la capillarité affecte



© THOMAS PODGORSKI



◀ **Gouttes d'huile sur une surface mal mouillée.** Cette dernière est progressivement inclinée, ce qui conduit à une vitesse de drainage de plus en plus élevée, engendrant une goutte à la forme pointue. Au-delà d'un certain seuil, la pointe émet de minuscules gouttelettes.

donc essentiellement les êtres subcentimétriques, comme les fourmis de *Microcosmos*. En état d'apesanteur, cette limite n'existe plus : le capitaine Haddock a bien du mal à déguster sa boisson favorite à l'intérieur de la fusée qui le mène vers la Lune !

L'épaisseur d'une flaque n'est cependant pas uniquement dictée par la longueur capillaire. Un autre ingrédient intervient : le mouillage. Tous les liquides ne s'étalent pas de la même manière sur un matériau donné : certains, plus mouillants, s'étalent complètement, alors que d'autres, partiellement mouillants, prennent la forme d'une calotte sphérique. Une goutte d'eau posée sur une feuille de nénuphar prend même celle d'une perle : on tend alors vers une situation de mouillage nul.

L'eau mouille mal les matières grasses. Aussi les animaux graissent-ils leur fourrure ou leur plumage pour les maintenir imperméables. Nous les imitons en cirant nos chaussures. Cette hydrophobie permet également à des petits objets denses de flotter sur l'eau malgré leur poids, telle une

épingle grasse délicatement posée à la surface de l'eau. En effet, son immersion nécessite le mouillage forcé de la surface grasseuse. Les araignées d'eau peuvent ainsi flotter à la surface d'une mare. Cet état s'avère cependant précaire : ajoutons du savon dont les molécules rendent l'eau plus mouillante et l'épingle, l'araignée d'eau ou la poudre de poivre finissent par couler !

Les propriétés du savon. Pourquoi le savon rend-il l'eau plus mouillante ? Parce qu'il contient des molécules amphiphiles dont une moitié, hydrophobe, ressemble à de l'huile, alors que l'autre moitié, hydrophile, possède de bonnes affinités avec l'eau. De telles molécules peuvent ainsi jouer le rôle de connecteur entre une phase aqueuse et une phase grasseuse en venant se placer à leur interface. Ces molécules, dites tensioactives, s'adsorbent à l'interface eau-air et en réduisent considérablement la tension de surface (d'un facteur 2 environ). Cela explique la fuite des particules de poivre sous l'action du savon à vaisselle : la tension de surface du centre de l'évier diminue brusquement au contact du savon, alors qu'à la périphérie cette tension demeure inchangée. La surface de l'eau est tirée par le côté, entraînant avec elle les grains de poivre.

Des bulles aux mousses. Les bulles de savon sont fragiles (voir **POSTER** p. 27-30) : elles mettent en jeu énormément de surface pour un minuscule volume de liquide,

◀ **Jets d'eau.** Une colonne cylindrique est instable et se décompose spontanément en un chapelet de gouttes dont la forme oscillante tend rapidement vers une sphère.

ce qui n'est pas favorable. Les molécules tensioactives permettent cependant de stabiliser cette forme précaire en repoussant les deux faces de la membrane liquide qui constitue la bulle (une bulle met en jeu deux interfaces entre l'eau savonneuse et l'air extérieur ou intérieur).

Comment passer des bulles aux mousses ? Il suffit de « coller » plusieurs bulles entre elles. Deux ballons de baudruche comprimés l'un sur l'autre développent une zone de contact plane dont le bord est délimité par une arête. Il en est de même pour des bulles de savon, à cela près que la tension des films liquides demeure constante, ce qui engendre des propriétés géométriques particulières aux mousses : des angles de 120° entre les facettes, par exemple. Une mousse présente ainsi des bulles facettées (voir *TDC*, n° 922, « La science des couleurs », p. 7).

Le mouillage dynamique. Un solide mis en mouvement dans un fluide communique son mouvement au fluide environnant. Cet effet est caractérisé par la viscosité du fluide : il est bien plus facile d'agiter une baguette dans l'air, peu visqueux, que dans un pot de miel. Aussi, lorsqu'on retire un objet d'un bain, l'objet a tendance à entraîner du liquide avec lui, et ce d'autant plus que le liquide est visqueux. La tension de surface tend au contraire à limiter la création d'interface liquide-air supplémentaire et s'oppose à l'épaississement du film. La quantité de liquide finalement entraînée dépend ainsi d'un équilibre entre tension de surface et capillarité. Ce même équilibre régit également la forme d'une goutte qui s'écoule : bombée à l'avant et aplaniée à l'arrière. Au-delà d'une certaine vitesse, la viscosité l'emporte sur la capillarité et la goutte se transforme en larme... pointue. ●

SAVOIR ⊕

OUVRAGE ET REVUE

- GENNES Pierre-Gilles de, BROCHARD-WYART Françoise, QUÉRÉ David. *Gouttes, bulles, perles et ondes*. Paris : Belin, 2002.
- PODGORSKI Thomas, FLESSELLES Jean-Marc. « La forme d'une goutte qui ruisselle », *Pour la science*, n° 301, novembre 2002.

DVD

- COLOMBANI Hervé. *Décryptage des images de science*. Paris : Cité des sciences et de l'industrie/CNRS Images, 2005.