

## Physique

Nicolas Constans et François Graner

### Des ronds dans l'évier<sup>1</sup>

Léonard de Vinci, dans l'un des 13 000 feuillets où il consignait infatigablement ses observations sur la nature, notait : *"L'eau qui tombe en ligne perpendiculaire par un tuyau arrondi sur un lieu plan, tracera une onde circulaire autour de l'endroit percuté ; à l'intérieur de ce cercle, l'eau se mouvra très rapidement et s'étalera en une couche fort mince autour du point frappé, puis finira par heurter la vague qu'elle a produite qui cherche à retourner au lieu de la percussion."*

### **Imitez Léonard dans votre évier : ouvrez le robinet et observez.**

L'eau s'étale en une mince pellicule dans toutes les directions autour de l'impact. Puis son niveau remonte assez brusquement. Cette discontinuité trace autour du jet un cercle, que les physiciens nomment ressaut hydraulique. Bien sûr, si le fond de votre évier n'est pas plat, le cercle ne sera pas parfait.

### **Faites l'expérience dans un moule à tarte. Que se passe-t-il ? Puis retournez le moule. Qu'observez-vous maintenant ?**

Dans un récipient, le rayon du cercle diminue au fur et à mesure du remplissage, car la hauteur externe du liquide augmente. À moins de percer un trou dans votre moule, votre ressaut disparaît rapidement. Quand le moule est retourné, en revanche, le niveau n'est plus contraint, donc la discontinuité est à peine visible. Mais revenons à Léonard. Sur la couche mince, écrit-il, l'eau se meut très rapidement.

### **Jetez quelques miettes près du jet. Pouvez-vous estimer leur vitesse avant et après le cercle ?**

Pas de doute : les miettes vont vite sur la couche mince, puis ralentissent après la discontinuité. L'eau passe d'une surface étroite (celle du tuyau) à une surface de plus en plus grande (celle du jet qui s'étale dans toutes les directions, en forme, disons, de pavillon de trompette). Le débit, la vitesse du fluide multiplié par la surface qu'il traverse, reste constant. Par conséquent, si la surface augmente, la vitesse doit diminuer. Tant et si bien, proposa Lord Rayleigh en 1914, qu'elle finit par atteindre une vitesse critique. Et c'est à cet endroit, selon lui, que le ressaut se forme. Quelle est l'idée de Rayleigh ? Peu ou prou celle du mur du son. Le frottement de l'air sur un avion produit des ondes sonores. Si l'appareil atteint la même vitesse que ces ondes, elles s'accumulent à son

---

<sup>1</sup> concernant le titre, je n'ai pas encore déterminé de position définitive. Vos avis seront bienvenus.

nez, et créent une discontinuité de pression. Mais le phénomène existe sans avion. Dans un vent supersonique, comme, par exemple, celui d'une soufflerie, il suffit d'une petite perturbation ou d'une impureté pour que des ondes sonores soient générées, qu'elles s'accumulent et créent une discontinuité. C'est un processus analogue qui est à l'œuvre dans le ressaut hydraulique, à la différence que le rôle des ondes sonores est tenu par des ondes de surface.

### **Sur la couche mince, créez un obstacle avec la pointe d'un clou ou d'un crayon. Qu'observez-vous?**

Le sillage ainsi créé prend la forme d'un triangle : c'est exactement la même structure – une onde de choc, en fait – que l'on observe à l'avant d'un avion qui passe le mur du son. Le problème, c'est que cette théorie ne permet pas de reproduire précisément les résultats expérimentaux, notamment la variation du rayon avec le débit. Cependant, il y a un paramètre que Rayleigh ne fait pas jouer dans sa formule, la viscosité.

### **Quelle taille a le rond quand vous versez de l'huile à la place de l'eau?**

Il est à peine visible : expérimentalement, en effet, le rayon est d'autant plus petit que le fluide est visqueux. En 1964, Watson<sup>2</sup> montre que dans la zone où le fluide frotte sur la paroi, la couche limite, les effets visqueux ne sont pas du tout négligeables. Et plus le fluide s'éloigne de l'impact, plus il a subi de frottements, donc plus cette couche limite est épaisse. Certains, comme Robert Godwin, du Laboratoire de Los Alamos, proposent donc simplement de situer la discontinuité à l'endroit où cette couche limite, à force d'épaissir, atteint la surface. Les prédictions sont un peu meilleures, mais on ne sait pas justifier une telle hypothèse. Afin de distinguer les effets visqueux et ceux de type Rayleigh, Daniel Bonn, du laboratoire de physique statistique de l'ENS, vient de lancer une expérience avec un liquide de viscosité quasi-nulle, l'hélium superfluide.

### ***Matière à expériences<sup>3</sup> :***

Pour Rayleigh, le rayon du cercle est proportionnel : à petit débit, au débit divisé par le carré de la hauteur du jet ; à haut débit, au carré du débit divisé par le carré de la hauteur du jet.

Pour Godwin, le rayon du cercle est proportionnel au débit à la puissance deux-tiers et inversement proportionnel à la racine cubique de la viscosité.

---

<sup>2</sup> où travaille-t-il? Mettre au moins son prénom.

<sup>3</sup> peut-être la maquette permettra-t-elle de rapprocher cela d'un schéma, très simple, montrant un rond dans un évier...

Avec un verre gradué, une montre et une règle, mesurez le débit de votre robinet et le rayon du cercle. Quelle relation entre les deux obtenez-vous? Votre évier est-il plutôt Godwin ou plutôt Rayleigh?

Pour en savoir plus :

F. Graner, *Physique de la vie quotidienne*, Springer, 2003

Y. Bréchet et Z. Néda, *American Journal of Physics*, 67, 723, 1999