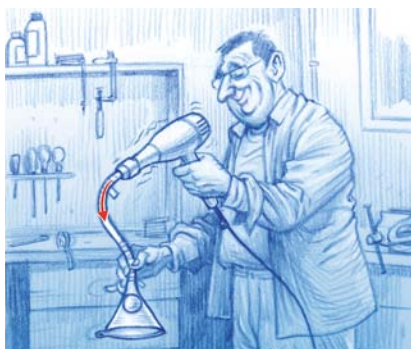


Dessins de Bruno Vacaro



L'EFFET VENTURI explique qu'une balle de ping-pong soit aspirée au fond d'un entonnoir dans lequel on souffle assez fort, et non expulsée comme on s'y attendrait intuitivement. Dans une fontaine-boule, dès que le débit d'eau est trop important, cet effet inertiel peut prendre le dessus sur l'effet de la viscosité et déstabiliser la sustentation de la boule.

■ LES AUTEURS



Jean-Michel COURTLY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris. Leur blog : <http://blog.idphys.fr>



Retrouvez la rubrique
Idées de physique sur
www.pourlascience.fr

pneus sur la route pour une automobile ordinaire. Avec un contact sur l'intégralité de l'hémisphère, la surpression serait 20 fois plus faible, soit un dixième d'atmosphère – une surpression que l'on peut produire en soufflant avec la bouche. Pour les situations intermédiaires, on s'aperçoit qu'une pompe, même peu performante, permettrait d'atteindre la pression désirée.

À l'intérieur d'un pneu ou d'un circuit hydraulique, le fluide est enfermé dans une enveloppe hermétique et peut ainsi être mis sous pression. Ce n'est pas le cas avec la fontaine-boule, puisque l'eau s'écoule à la périphérie du socle. Comment la pression peut-elle être maintenue sous la boule sans que l'eau ne soit chassée ? Réponse : en créant un écoulement et en jouant avec la viscosité du fluide.

Si l'on souhaite maintenir un écoulement d'eau dans un tuyau horizontal dont une extrémité est ouverte à l'air libre, on sait qu'il faut injecter à l'entrée du tuyau une pression supérieure à la pression atmosphérique – ce afin de compenser les « pertes de charge » dues à la viscosité de l'eau, c'est-à-dire au frottement entre les filets d'eau contigus. Ces derniers ont en effet des vitesses différentes : immobile dans les filets au contact des parois, l'eau a une vitesse maximale dans les filets au cœur de l'écoulement. Plus précisément, pour des écoulements pas trop rapides, le profil de vitesse est parabolique (voir la figure de droite page 89).

Pour la fontaine-boule, le phénomène est identique : l'eau, injectée au fond du réceptacle, s'écoule dans le petit interstice qui sépare la boule et le socle, interstice qui fait office de tuyau. Les effets de la viscosité créent alors une variation de pression entre le point d'injection de l'eau, où la pression est maximale, et le bord de la fontaine, où le liquide est à la pression atmosphérique.

Comment s'assurer que la pression est suffisante pour soulever la boule, sans l'éjecter de son socle ? En fait, il n'y a rien à faire : l'ajustement est automatique lorsque l'on contrôle non pas la pression, mais le débit d'eau. Pourquoi ? Selon la loi de Hagen-Poiseuille, établie au XIX^e siècle, quand un fluide visqueux s'écoule entre deux surfaces, la variation de pression par unité de longueur

est proportionnelle au quotient du débit du fluide sur le cube de l'épaisseur de la couche de liquide. Cela signifie qu'à débit constant, une diminution d'épaisseur d'un facteur deux augmente la variation de pression – donc ici la surpression par rapport à la pression atmosphérique – d'un facteur huit.

En fixant le débit, si la (sur)pression est insuffisante au sein du fluide pour porter la boule, cette dernière va s'enfoncer, l'épaisseur de fluide diminuer et la surpression augmenter jusqu'à compenser, par la force exercée sur la surface de contact, le poids de la boule. Au contraire, en cas de pression excessive, la boule s'élève et la surpression diminue jusqu'à atteindre la valeur qui assure l'équilibre.

Avec une surface de contact occupant 17 % de l'hémisphère, un débit somme toute modeste de 1,5 litre par seconde assure la sustentation de notre sphère de un mètre de diamètre à une distance de un tiers de millimètre de son support, valeur que confirment les mesures.

On comprend alors la difficulté de réaliser de telles fontaines : les aspérités des surfaces de la boule et de son logement doivent être d'épaisseur inférieure au tiers de millimètre, faute de quoi elles entreraient en contact et l'on n'aurait pas de sustentation. En revanche, si le polissage est suffisant, la boule est en contact uniquement avec le film d'eau, d'où un frottement considérablement réduit. Et, très bien lubrifiée, la boule tourne sur elle-même lorsqu'on l'effleure de la main.

Éviter l'aspiration

Pour contourner la difficulté liée aux aspérités, on pourrait être tenté d'augmenter le débit de l'eau, afin que la boule s'éloigne de son logement. Hélas, dans cette situation, un second effet entre en jeu, l'effet Venturi. En quoi consiste-t-il ? Lorsque la vitesse d'un écoulement devient importante, les effets inertiels – notamment liés à l'accélération ou à la décélération du fluide – prennent le pas sur les effets de viscosité : en raison de la conservation de l'énergie, la pression diminue quand la vitesse (donc l'énergie cinétique) du fluide augmente. Ainsi, si l'on place une balle de ping-pong dans un