

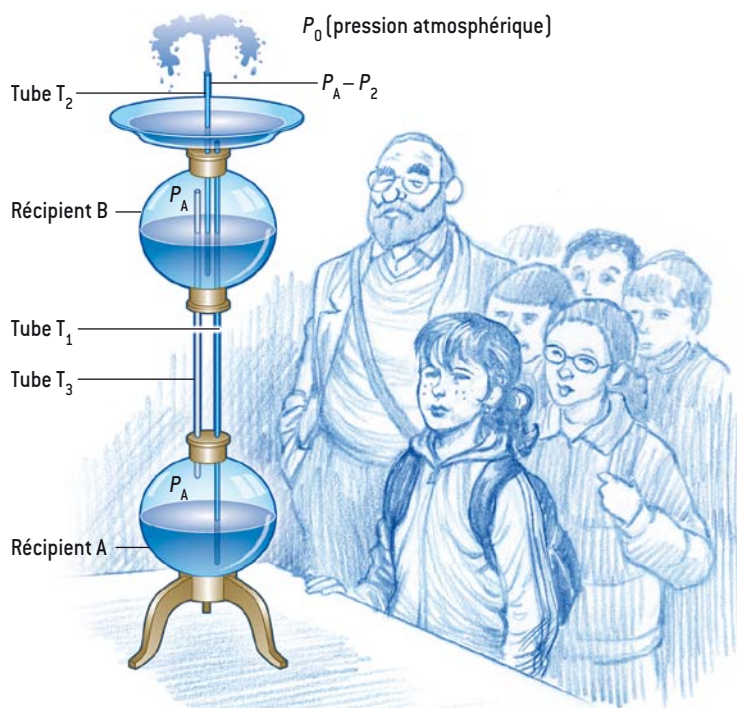
Du côté supérieur, tant que l'eau n'a pas rempli entièrement la paille, ce liquide demeure en contact avec de l'air qui exerce toujours, sous l'effet de l'agitation moléculaire, une pression sur sa surface, donc une force qui s'oppose à sa montée. L'eau monte dans la paille uniquement parce qu'à son extrémité inférieure, l'atmosphère exerce une pression supérieure. En résumé, si l'eau monte, ce n'est pas parce que l'on tire sur elle et qu'elle est mise sous tension comme le serait une corde, mais parce qu'on établit une différence de pression entre ses deux surfaces libres.

La hauteur atteinte traduit alors l'équilibre entre le poids de la colonne d'eau soulevée et les forces de pression qui s'exercent à ses extrémités. Au sein d'un fluide incompressible et immobile, la pression hydrostatique est le produit de la masse volumique du fluide (un kilogramme par litre pour l'eau), de l'accélération de la pesanteur et de la profondeur : c'est le poids de la colonne d'eau rapporté à sa section. La différence de pression imposée pouvant être arbitrairement grande, il n'y a pas de limite à l'élévation possible : dix mètres d'eau avec une atmosphère de pression (en faisant le vide d'un côté), mais beaucoup plus si, à l'entrée, l'eau est sous forte pression comme dans une pompe à refoulement.

Une question de hauteurs d'eau

Le siphon fonctionne comme une paille, mais l'aspiration est inutile parce que la pression au point le plus haut du tuyau en $\cap$ est réduite. On s'en rend compte en analysant comment varie la pression dans la partie descendante [gauche] du tuyau en $\cap$. Bouchons avec la main l'extrémité du tuyau qui est dans le récipient [l'aquarium de la figure 2]. L'eau s'arrête alors de couler (à condition que le diamètre du tuyau ne soit pas trop grand ; sinon, des bulles d'air s'infiltreraient aisément dans le conduit). Pourquoi ?

À l'extrémité ouverte, l'eau est en contact avec l'air et subit donc la pression atmosphérique. La pression au sommet du tuyau est ainsi diminuée de la pression hydrostatique de la colonne d'eau de la partie gauche du tuyau en $\cap$. Au niveau de la main, la pression est égale à la pression hydrostatique de la



3. DANS LA FONTAINE DE HÉRON, la pression P_A dans le récipient clos A est égale à $P_0 + P_1$, où P_0 est la pression atmosphérique et P_1 la pression hydrostatique due à l'eau contenue dans le tube T_1 . Dans le récipient clos B, la pression est aussi égale à P_A , grâce au tube d'air T_3 reliant A à B. La pression de l'eau à l'extrémité supérieure du tube T_2 , si cette extrémité est fermée, est alors égale à $P_A - P_2 = P_0 + P_1 - P_2$, où P_2 est la pression hydrostatique due à l'eau contenue dans le tube T_2 . Le tube T_1 étant plus long que T_2 , on a $P_1 > P_2$, donc $P_A - P_2$ est supérieure à P_0 , la pression atmosphérique ; c'est pourquoi l'eau jaillit du tube T_2 .

colonne d'eau de la partie droite du tuyau, mais, cette colonne étant plus courte que celle de gauche, sa pression hydrostatique demeure inférieure à la pression atmosphérique : il s'ensuit qu'au niveau de la main, il y a dépression. On peut ainsi affirmer que c'est le poids de la colonne de gauche, supérieur à celui de la colonne de droite, qui est responsable de la montée à droite.

Dans le cas d'un siphon inversé, où le tuyau est en forme de $\cup$, on obtient la conclusion contraire : c'est le poids de la colonne la plus haute qui appuie pour faire jaillir l'eau à l'extrémité la plus basse. C'est ainsi que fonctionne le pont-siphon, un ouvrage d'art qui, comme le siphon de l'Yzeron à Sainte-Foy-lès-Lyon, fait franchir à l'eau, grâce à un dénivelé, une vallée encaissée.

Qu'advient-il lorsqu'on retire la main et que l'eau s'écoule de nouveau ? Une analyse énergétique s'impose : il faut alors prendre en compte le travail des forces de pression, le travail du poids, les variations de l'énergie cinétique du fluide et la dissipation d'énergie due à la viscosité et aux turbulences, que

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 les articles de J.-M. Courty et E. Kierlik sur www.pourlascience.fr



BIBLIOGRAPHIE

J. J. Ramette et R. W. Ramette, *Siphonic concepts examined : A carbon dioxide gas siphon and siphons in vacuum*, *Physics Education*, vol. 46(4), pp. 412-414, 2011 (en accès libre sur <http://iopscience.iop.org/0031-9120/46/4>).

S. Shakerin, *Water fountains with special effects*, *American Scientist*, vol. 93(5), pp. 444-451, 2005.

P.-M. Binder et A. Richert, *The explicit siphon*, *Physics Education*, vol. 46(6), pp. 710-711, 2011.

l'on regroupe sous le terme de « pertes de charge ». Quand ces dernières sont faibles et que le fluide s'écoule avec un débit constant dans un tuyau de diamètre constant, on retrouve les mêmes différences de pression qu'en hydrostatique, donc les mêmes conclusions quant à la direction du mouvement du fluide.

On peut maintenant comprendre le mécanisme de la fontaine de Héron. Pour ce faire, commençons par boucher le tube vertical d'où jaillit l'eau. La pression à la surface de l'eau du récipient du bas est la pression atmosphérique additionnée de la pression hydrostatique de la colonne d'eau située entre la surface de la coupelle et la surface de ce récipient. Cette pression est intégralement transmise à la surface de l'eau du récipient du haut par l'air qui communique entre les deux récipients. Au niveau de la main, la pression

est égale à cette dernière, diminuée de la pression hydrostatique du tube vertical reliant le récipient supérieur et la coupelle. Ce tube étant plus court que le premier, la pression à son sommet reste plus importante que la pression atmosphérique : grâce à cette surpression, l'eau jaillit si on enlève notre main. On peut montrer qu'en l'absence de pertes de charge, elle s'élèvera à une hauteur égale à la différence de longueur entre les deux colonnes d'eau dans les tubes.

A-t-on inventé un mouvement perpétuel ? Hélas non. Le récipient du haut se vide progressivement dans la coupelle, qui elle-même se vide dans le récipient du bas. Tout s'arrête donc quand le récipient du haut s'est vidé. Malgré son apparente complexité, la fontaine de Héron est bien un siphon : le récipient du haut se vide dans celui du bas, avec l'eau qui monte d'abord, puis descend.

france culture

LA MARCHE DES SCIENCES

Découvertes, inventions, aventures savantes au fil de l'Histoire

Aurélien Luneau
14h-15h / chaque jeudi

franceculture.fr

SCIENCE

SCIENCE & GASTRONOMIE

Nous mangeons nos souvenirs

La sensation d'être rassasié dépend à la fois de la quantité et de l'apparence des aliments que nous avons ingérés.

Hervé THIS

Jean-Anthelme Brillat-Savarin, le juriste qui popularisa en 1825 le mot « gastronomie », introduit par le poète Joseph Berchoux en 1801, fut l'un de ceux qui eurent raison de dire que nous mangeons trop vite. Il oublia toutefois d'écrire que nous mangeons trop. Inversement, Pierre Combris, de l'INRA de Vitry, montre que le déterminisme économique a conduit les habitants des États-Unis à atteindre une proportion d'obèses de 30 pour cent, et estimée à 45 pour cent pour les prochaines années. L'obésité est une pandémie, et il est urgent de trouver des moyens d'aider les individus à adapter leur régime alimentaire à leur mode de vie. Oui, nos choucroutes, nos cassoulets sont merveilleux... mais ils ne conviennent pas à nos vies souvent sédentaires, urbanisées.

La science peut-elle identifier des phénomènes qui nous aideraient à changer nos comportements ? Pourquoi mangeons-nous trop ? Les quantités ingérées sont déterminées par des signaux endocriniens et neuroaux détectés par l'hippocampe et le cortex frontal. Il est aussi apparu que le système nerveux central a une contribution essentielle, car des récepteurs de l'insuline et de la leptine y sont présents, et que l'hippocampe reçoit des informations de l'hypothalamus.

Or l'hippocampe intervient notablement dans l'apprentissage et la mémoire. En 2011, Suzanne Higgs et ses collègues de l'École de médecine de Birmingham ont, en outre, montré que le souvenir des repas récents peut diminuer la quantité consommée lors des repas suivants (l'effet persiste plusieurs heures). Pour interpréter ce phénomène, on

s'est souvenu que les patients qui souffrent d'« amnésie rétrograde », avec une lésion bilatérale de l'hippocampe, souffrent aussi d'hyperphagie : après avoir mangé à satiété, un patient se remet à manger.

À l'Université de Bristol, Jeffrey Brunstrom, Danielle Ferriday et leurs collègues ont testé l'influence de la mémoire des aliments récemment consommés sur la faim et sur le sentiment de rassasiement. Ils se sont adjoint le concours de 100 volontaires, dont 22 en surpoids et 5 obèses ; les végétariens étaient exclus du groupe, ainsi que les personnes ayant des allergies ou des intolérances. Pour une telle étude, où les biais sont une menace constante, mille précautions avaient été prises, pour servir des aliments dans des conditions constantes, bien connues, reproductibles.

Avant le déjeuner, on montrait à la moitié des participants un potage de 30 centilitres, tandis que l'autre moitié voyait un potage de 50 centilitres. Ces potages n'étaient qu'affichés, et les sujets ne pouvaient pas voir ce qu'ils mangeaient. Dans chacun des deux groupes, une moitié (25 sujets) consommait 30 centilitres de potage, et l'autre moitié 50 centilitres.

Les résultats sont clairs : immédiatement après le déjeuner, les sujets déclaraient leur sentiment de rassasiement d'après leur consommation réelle, et non d'après leur consommation perçue. Deux heures, puis trois heures après le déjeuner, les sujets inversaient leur jugement : leur faim était fondée sur ce qu'ils avaient perçu, et non sur ce qu'ils avaient effectivement mangé. Les physiologistes ont également observé

une augmentation du « rassasiement perçu » 24 heures après la consommation. Ces résultats confortent ceux de Birmingham et montrent que les perceptions, les attentes, la faim physiologique, voire les mots que nous mettons sur les mets, interviennent dans notre alimentation.

Pourquoi l'évolution biologique nous a-t-elle conféré ce comportement ? De plus en plus de travaux montrent que nos perceptions permettent à l'organisme de bien fonctionner. Par exemple, notre appareil sensoriel détecte les nutriments (calcium, saccharides, sources d'énergie, etc.), et prépare aussi la digestion, mettant fin... à la faim. Ces adaptations expliquent pourquoi les manipulations des goûts doivent être prudentes. Les modifications des saveurs sucrées, de la viscosité ou de la teneur en matière grasse ont ainsi des conséquences postingestives : les animaux que l'on expose à une alimentation « incohérente » grossissent. À la lumière des travaux de Bristol, on peut se demander si les phénomènes de mémoire et d'attente résultant de l'évolution ne sont pas oblitérés par les nourritures modifiées, amenant l'obésité. ■



© Jean-Michel Thiriet



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 H. This sur www.pourlascience.fr

