

ART & SCIENCE

Thèbes, victime d'Œdipe ou... d'une bactérie ?

Des médecins athéniens ont identifié l'agent pathogène responsable du mal qui ravage Thèbes dans Œdipe roi, la pièce de Sophocle.

Loïc MANGIN

Les fruits de la terre périssent, encore enfermés dans les bourgeons, les troupeaux de bœufs languissent, et les germes conçus par les femmes ne naissent pas. Brandissant sa torche, la plus odieuse des déesses, la peste, s'est ruée sur la ville et a dévasté la demeure de Kadmos. Le noir Hadès s'enrichit de nos gémissements et de nos lamentations.

Œdipe roi, Sophocle
(trad. Leconte de Lisle).

Dès l'ouverture de la pièce du dramaturge grec Sophocle (495-406 avant notre ère), un prêtre se plaint en ces termes à Œdipe, le roi de Thèbes, de la malédiction qui s'est abattue sur la cité. Rappelons brièvement l'intrigue. Après avoir triomphé du Sphinx qui terrorisait la ville, Œdipe épousa Jocaste qui venait de perdre son mari, l'ancien roi Laïos, assassiné au détour d'un chemin lors d'une rixe. L'oracle de Delphes annonce que la maladie disparaîtra lorsque le régicide sera puni. À mesure des révélations, on apprend que le meurtrier n'est autre qu'Œdipe. Il a ainsi accompli la prophétie à laquelle il pensait échapper en fuyant Polybe et Mérope, qu'il croyait ses parents : ils n'avaient fait que l'adopter. Œdipe a bien tué son père et épousé sa mère. Cette dernière, en l'apprenant, se suicidera. Le roi de Thèbes sera alors banni après s'être crevé les yeux.

Revenons au fléau qui ravage la ville. Sophocle parle de peste, un nom générique pour une épidémie importante. Mais de quelle maladie s'agit-il précisément ? Pour le savoir, Antonis Kousoulis et ses collègues, de l'École de médecine de l'Université d'Athènes, se

sont penchés sur le texte et l'ont analysé d'un point de vue médical. Leur conclusion est que l'épidémie est probablement due à la bactérie *Brucella abortus* et qu'elle est inspirée d'un événement historique.

Plusieurs éléments, sporadiques, principalement dans le premier tiers de la pièce, permettent de dresser un tableau clinique. Dans les premières lignes de la pièce (*voir la citation au début de l'article*), Sophocle révèle que la maladie est une zoonose, c'est-à-dire transmise par les animaux. Plusieurs passages mettent en évidence un taux de mortalité important chez les habitants : « Toute la ville est pleine de l'encens qui brûle et du retentissement [...] des lamentations. » ; « La ville est épuisée par les funérailles sans nombre. »

L'épidémie évoquée dans *Œdipe roi* serait inspirée d'un événement réel.

Sophocle écrit aussi que « la multitude non pleurée et qui donne la mort gît sur la terre », illustrant la contagiosité de la maladie. Les fausses couches et l'infertilité sont aussi des symptômes : « Les germes conçus par les femmes ne naissent pas. » ; « Les femmes n'enfantent point et souffrent des douleurs lamentables. »

L'agent pathogène responsable de l'épidémie décrite dans la pièce est très contagieux, entraîne une mortalité importante du bétail et des humains. Les médecins ont établi une liste de micro-organismes associés à ces diverses caractéristiques :

le protozoaire *Leishmania*, les bactéries *Leptospira*, *Brucella abortus* et *Francisella tularensis*, ainsi que les virus de la famille de celui de la variole [poxvirus].

Parmi les maladies humaines dues à ces germes, la tularémie est transmise essentiellement par les lapins, la variole n'atteint pas le bétail, la leishmaniose est très peu contagieuse et la leptospirose est associée à la pullulation des rats. Seule reste en lice la bactérie *Brucella abortus* qui entraîne la brucellose. Elle se transmet de l'animal à l'homme par ingestion et par contact.

Le diagnostic établi, on peut s'interroger sur les sources d'inspiration du dramaturge. La maladie décrite dans la pièce est-elle celle relatée par l'historien Thucydide dans son *Histoire de la guerre du Péloponnèse* ? La proximité des dates semble l'indiquer : l'épidémie a frappé Athènes en -430 et -429, tandis que la pièce a été écrite entre -430 et -420. Par ailleurs, les deux auteurs utilisent des termes similaires pour décrire les réactions des populations. Enfin, l'évocation d'Arès – le dieu de la guerre – est un autre argument, car selon l'historien, l'épidémie est bien une conséquence des guerres qui opposèrent de -431 à -404 la ligue du Péloponnèse, dirigée par Sparte, à celle de Délos, sous l'égide des Athéniens.

Certains exégètes ont remis en cause la culpabilité d'Œdipe et préfèrent lui attribuer un rôle de victime expiatoire. Le coupable serait-il *Brucella abortus* ? ■

A. Kousoulis et al., *The plague of Thebes, a historical epidemic in Sophocles' Oedipus Rex*, *Emerging Infectious Diseases*, vol. 18, pp. 153-157, 2012.



Laurence Olivier (Œdipe) et Sybil Thorndike (Jocaste) dans *Œdipus Rex*, en 1945.

© Hilton-Deutsch Collection/CORBIS

IDÉES DE PHYSIQUE

La fontaine de Héron

*Pour transvaser un liquide, rien de tel qu'un siphon :
gravité et pression atmosphérique font le travail à notre place !*

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Au I^{er} siècle de notre ère, dans son traité *Pneumatica*, le savant grec Héron d'Alexandrie a décrit un étonnant dispositif composé de deux récipients clos et d'une coupelle (voir la figure 3). Le fond du récipient le plus bas est relié par un tuyau au fond de la coupelle (ou d'un bassin dans la version grand modèle). Un autre tuyau relie les parties supérieures des deux récipients, toujours pleines d'air. Enfin, un troisième tube s'ouvre au-dessus de l'eau de la coupelle et plonge jusqu'au fond du récipient du haut.

Lorsqu'on remplit d'eau la coupelle, de l'eau jaillit du tube qui émerge au-dessus, tandis que la coupelle se vide progressivement dans le récipient du bas. Au bout de quelque temps, la fontaine s'arrête.

Que s'est-il passé ? D'où vient ce jet d'eau alors qu'aucune pompe n'est présente ? La complexité du dispositif ne doit pas cacher qu'avec sa succession de vases communicants, la fontaine de Héron joue avec les mêmes principes que les siphons – où, dans leur plus simple expression, de l'eau s'élève dans un tuyau avant de descendre plus bas (voir la figure 2). Aussi, pour comprendre la fontaine de Héron, un bon physicien aura le réflexe de revenir à ces dispositifs hydrauliques plus élémentaires, connus et utilisés depuis des milliers d'années pour transporter et distribuer de l'eau.

Tentons de transvaser l'eau d'un récipient, par exemple un aquarium, au moyen d'un siphon (voir la figure 2). Cela se révèle nécessaire quand le récipient est trop lourd

à déplacer. Pour ce faire, plongeons dans le récipient une extrémité d'un tuyau déjà rempli d'eau et abaissons l'autre extrémité sous le niveau d'eau. L'eau du récipient est alors siphonnée : elle se vide en remontant dans le tuyau avant de redescendre. Qu'est-ce qui met en mouvement la colonne d'eau ?

Le plus simple des siphons : la paille

Pour le comprendre, considérons une situation encore plus simple : ce qui se passe lorsque nous buvons un liquide (de l'eau, par exemple...) avec une paille (voir la figure 1). L'aspiration de la bouche crée une dépression et nous avons l'impression de tirer sur l'eau. Ce n'est qu'une impression.



1. EN « ASPIRANT » AVEC UNE PAILLE, on diminue la pression de l'air dans la bouche. La pression dans le gobelet, égale à la pression atmosphérique, lui est alors supérieure. Par conséquent, la pression atmosphérique pousse le liquide, qui monte dans la paille : il n'est pas aspiré.



2. L'AQUARIUM EST FACILEMENT VIDÉ avec un siphon, si l'extrémité libre du tuyau est placée au-dessous du niveau de la surface de l'eau dans l'aquarium. Quant au siphon inversé installé sous le lavabo, son coude rempli d'eau empêche la remontée d'odeurs nauséabondes.

Dessins de Bruno Vacaro

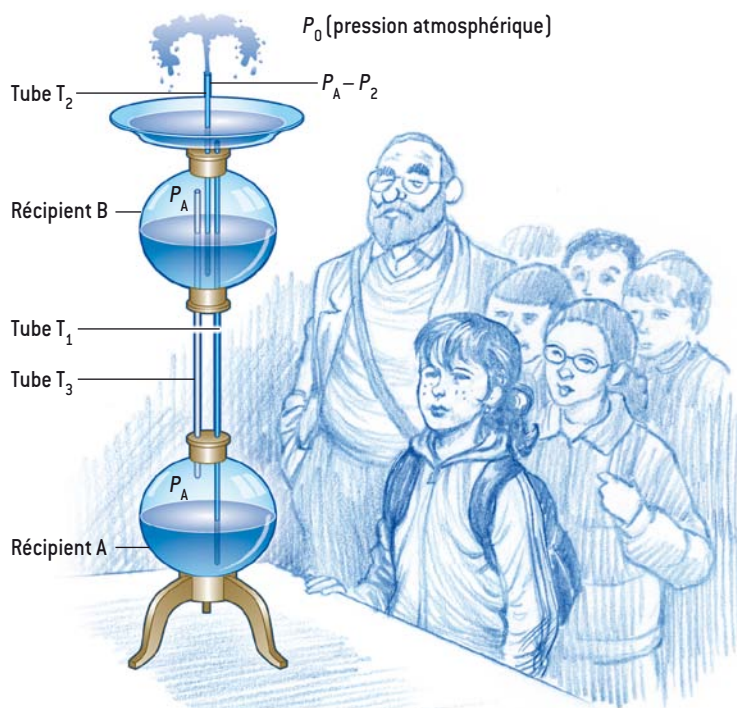
Du côté supérieur, tant que l'eau n'a pas rempli entièrement la paille, ce liquide demeure en contact avec de l'air qui exerce toujours, sous l'effet de l'agitation moléculaire, une pression sur sa surface, donc une force qui s'oppose à sa montée. L'eau monte dans la paille uniquement parce qu'à son 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'infiltrent 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 COURTJY 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

© 2013 France Culture. Tous droits réservés. Photo: M. D. / Getty Images

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. ■



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

