

UNE EXPÉRIENCE DE PASCAL SUR LE VIDE, L'EAU ET LE VIN

“L’expérience [du vide] a été maintes fois présenté par le remarquable M. de Paschal [...], et cela non seulement par le moyen du vif-argent¹ dans des petits tubes, savoir de 3,4 ou 5 pieds de roi de notre mesure², mais (ce qui à beaucoup semblait extraordinaire) par le moyen d’eau et de vin dans des tubes de 40 pieds, fabriqués en cristal avec un art merveilleux, et attachés à un mât de navire, si bien équilibré par des machines conçues pour cela qu’on pouvait facilement le dresser et l’abaisser selon le besoin.

L’occasion qui l’avait amené à recourir à une si grande hauteur avait été la suivante. [Certaines personnes], s’appuyant sur la nature du vif-argent, qui abonde en esprits³, affirmèrent sans hésiter que l’espace demeuré comme vide au sommet du tube n’était pas réellement vide, mais tout occupé par ces esprits.

A vrai dire, on réfutait [ces personnes] à bon droit [en remarquant] qu’une plus grande ou plus petite quantité de vif-argent aurait dû produire une plus grande ou plus petite quantité d’esprits, surtout dans des tubes différents, de largeur et de hauteur différentes, et ainsi le vif-argent aurait dû se tenir plus haut dans tels tubes, plus bas dans tels autres, et non garder cette hauteur constante de 2 pieds $7/24$.

[...] Mais comme ils proclamaient leur opinion avec quelque opiniâtreté, [...] Monsieur de Paschal estima qu’il fallait leur répliquer [...]. Il fit donc tailler dans le cristal des tubes de 40 pieds, les fit attacher à un mât et fit disposer des machines, comme je l’ai déjà dit ; il choisit un jour, un lieu très vaste, [...] et invita tout le monde à se trouver là pour contempler des merveilles.

Chez lui, le très habile M. de Paschal avait fait le calcul des poids de l’eau et du vin par rapport à celui du vif-argent [et avait trouvé que là où la hauteur du vif-argent était de 2 pieds $7/24$, celle de l’eau serait d’environ 31 pieds $1/9$ et celle du vin de 31 pieds $2/3$].

Il interrogea alors ces “éminents savants” et obtint d’eux sans difficulté qu’il se trouvait dans le vin plus grande abondance d’esprit que dans l’eau ; par conséquent si une telle expérience pouvait se faire, le vin laisserait plus d’espace que l’eau à l’extrémité [supérieure] du tube, si l’on prenait des tubes de même hauteur.

[Une fois les deux tubes dressés verticalement, l’eau et le vin] s’abaissèrent de telle sorte que, au repos, la hauteur de l’eau dans son tube, au dessus de la surface de l’autre eau contenu dans le seau en-dessous, se tenait à environ 31 pieds $1/9$; et le vin un peu plus haut, soit à peu près à 31 pieds $2/3$; les parties supérieures des tubes demeurant [...] comme vides, exactement comme on l’avait constaté pour le vif-argent.

Ces observations et beaucoup d’autres, présentées de diverses manières avec beaucoup d’exactitude, et répétées quatre fois en public, fermèrent la bouche à ces pauvres savants.”

¹ Il s’agit du mercure.

² Un pied de roi mesure 0,324 mètres.

³ Il s’agit ici des vapeurs de mercure.

I. Étude qualitative du texte. (8 points)

Ce texte, extrait d'une lettre envoyé par un savant français du *XVII^e* siècle – Gilles de Roberval – à un de ses correspondant alors en Pologne⁴, présente le récit d'une expérience que Blaise Pascal aurait réalisée à Rouen en 1647.

1. Décrivez en quelques lignes l'expérience menée par Pascal avec de l'eau et du vin qui est rapportée ici. Que veut montrer Pascal en réalisant une telle expérience ?
2. Selon Roberval, cette expérience était-elle nécessaire pour réfuter les contradicteurs de Pascal ? Quelle autre réfutation Roberval propose-t-il dans son texte ? Décrivez précisément cette dernière et dégagez-en le principe et l'intérêt.
3. Pascal peut-il déduire du résultat de son expérience avec de l'eau et du vin (telle qu'elle est rapportée par Roberval) qu'il n'y a pas de vapeur de vin ou d'eau dans les cavités en haut des tubes ? Expliquer pourquoi.

II. Étude quantitative du texte. (12 points)

Soit donc deux tubes de 13 mètres de haut chacun, l'un rempli de vin et l'autre d'eau, retournés et plongés tous les deux dans des récipients contenant les mêmes liquides respectifs, et disposés à l'air libre. On appellera "hauteur du liquide dans le tube" la différence entre d'une part le niveau supérieur du liquide dans le tube et d'autre part le niveau du liquide au contact de l'air à la surface du récipient dans lequel le tube est plongé. On supposera enfin que l'expérience se déroule à une température extérieure de 29 degrés Celsius.

4. On admettra dans cette question – comme le fait Pascal dans ce récit – que dans chacun des deux tubes l'espace au-dessus du liquide est absolument vide de toute matière. On désignera par $h_e^{(0)}$ et $h_v^{(0)}$ les hauteurs respectives d'eau et de vin dans les tubes. En écrivant l'équilibre de la colonne de vin dans son tube, on peut montrer que :

$$h_v^{(0)} = \frac{P_a}{\rho_v g}$$

où $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ et $P_a = 100 \text{ kPa}$ sont respectivement le champ gravitationnel et la pression atmosphérique au niveau de la mer, et $\rho_v = 977,6 \text{ kg/m}^3$ la masse volumique du vin.

a, En déduire :

$$\frac{h_e^{(0)}}{h_v^{(0)}} = \frac{\rho_v}{\rho_e}$$

où $\rho_e = 996 \text{ kg/m}^3$ est la masse volumique de l'eau. Évaluer numériquement ce rapport. Conclure.

b, Calculer $h_e^{(0)}$ et $h_v^{(0)}$.

5. Il se trouve cependant que l'on sait aujourd'hui que la cavité qui apparaît au-dessus de chaque liquide à l'extrémité supérieure du tube n'est pas vide, mais qu'elle contient des vapeurs du liquide en question (vapeur d'eau dans l'un des tubes,

⁴ "Sur le vide, narration de Gilles Personne de Roberval à noble homme M. Desnoyers", in PASCAL, *Oeuvres Complètes*, II, Desclée de Brouwer, Paris, 1970, pp. 455–477.

vapeur de vin dans l'autre)⁵. Ces vapeurs exercent sur les parties supérieures des liquides respectifs une pression qui ne dépend que de la température, et qui est appelée *pression de vapeur saturante* et notée P_s . **Nous allons étudier l'impact de ces vapeurs sur l'expérience étudiée ici.**

On peut montrer ici que le rapport "réel" h_e/h_v de la hauteur d'eau sur la hauteur de vin est :

$$\frac{h_e}{h_v} = \frac{\rho_v}{\rho_e} \times \left(\frac{P_a - P_{s,e}}{P_a - P_{s,v}} \right)$$

où $P_{s,e}$ et $P_{s,v}$ désignent respectivement les pressions de vapeur saturante d'eau et de vin.

a, Calculer numériquement h_e/h_v . Quel liquide "monte" finalement le plus haut ?⁶.

(Données : $P_{s,v} = 6,94 \text{ kPa}$, $P_{s,e} = 4 \text{ kPa}$).

b, Évaluer l'écart que l'on devrait finalement observer entre les hauteurs d'eau et de vin et comparer au résultat obtenu en (4,b). La différence pouvait-elle selon vous échapper aux témoins oculaires de l'expérience ?

6. Que pouvez-vous en déduire quand au rôle que joue le récit de cette expérience dans le texte de Roberval, et plus généralement que pouvez-vous dire du rôle "paradoxal" de l'expérience scientifique chez les savants français du *XVII^e* siècle comme Pascal ou Roberval ?

⁵ Les diagrammes de phases respectifs de l'eau et du vin assurent qu'à cette température de 29°C il y a coexistence des phases liquide et gazeuse.

⁶ L'expérience a été réalisée au Japon en 1985 et a confirmé ce résultat. Cf. Kimiyo KOYANAGI, "Cet effrayant petit livret...*Expériences nouvelles touchant le vide* de Blaise Pascal", in : *Les Pascal à Rouen, 1640-1648*, Jean-Pierre CLERO (dir.), Publication de l'Université de Rouen, Rouen, 2002, p. 146.