

(1 h 30)

Les deux parties sont indépendantes

I. SUR UN ARGUMENT D'ARISTOTE CONTRE LE VIDE

(11 points)

SAGREDO : “Quant au vide, j’aimerais entendre une appréciation exacte de la démonstration par laquelle Aristote le récuse, et ce que vous, seigneur Salviati, lui répondez. Le seigneur Simplicio me fera la grâce de rapporter avec précision la preuve du Philosophe¹, et vous, seigneur Salviati, votre réponse.”

SIMPLICIO : Aristote démontre que [...] la réalité du mouvement rend le vide impossible. Développant son argumentation, il fait d’abord deux suppositions : la première concerne des mobiles de poids différents, se mouvant dans le même milieu, et la seconde un même mobile se mouvant dans différents milieux.

Dans le premier cas il admet que des mobiles de poids différents se meuvent dans le même milieu avec des vitesses inégales ayant entre elles même proportion que les poids ; en sorte, par exemple, qu’un mobile dix fois plus lourd qu’un autre, descendra dix fois plus vite.

Dans le second cas il admet que les vitesses du même mobile dans différents milieux sont inversement proportionnelles à l’épaisseur – ou densité – de ces milieux ; si l’on prête ainsi à l’eau une densité dix fois supérieure à celle de l’air, il veut que dans l’air la vitesse soit dix fois plus rapide que dans l’eau. De cette seconde supposition il tire alors la démonstration suivante : puisque la ténuité² du vide diffère infiniment de la corporéité³, si subtile soit-elle, de n’importe quel milieu plein, un mobile qui dans un milieu plein parcourt une certaine distance en un certain temps, devrait dans le vide se mouvoir instantanément ; or le mouvement instantané est impossible ; donc [le vide est impossible].”⁴

1. Quelles sont, selon Simplicio, les deux suppositions faites par Aristote pour démontrer que le vide est impossible ? Que veut-il finalement montrer par ce raisonnement ? Utilisez-t-il pour cela la première supposition ? [1,5 points]

2. Reprenez précisément les différentes articulations du raisonnement d’Aristote présenté ici par Simplicio. [3 points]

Dans le passage qui suit, Salviati va s’attacher à démontrer que la seconde supposition énoncée plus haut par Simplicio est fautive. Pour cela il commence par demander à Simplicio quelle est, selon ce dernier, la proportion de rapport entre la densité de l’eau et celle de l’air.

SIMPLICIO : “[Je ne connais pas précisément cette proportion], mais supposons qu’elle soit comme dix, et qu’ainsi la vitesse d’un grave⁵ qui descend dans les deux éléments soit dix fois plus lente dans l’eau que dans l’air.

¹ Aristote.

² La finesse, la minceur.

³ L’épaisseur.

⁴ [1], pp. 52–53.

⁵ Un corps pesant.

SALVIATI : *[Entendu], je prends à présent un des ces graves qui descendent dans l'air, mais non dans l'eau⁶, telle une boule de bois, et je vous demande de lui assigner la vitesse qu'il vous plaît alors qu'il descend dans l'air.*

SIMPLICIO : *Supposons qu'il se meuve [dans l'air] avec vingt degrés de vitesse.*

SALVIATI : *Fort bien. [...Donc], en se conformant rigoureusement à l'hypothèse d'Aristote, on devrait admettre que la boule de bois qui dans l'air [...] tombe avec vingt degrés de vitesse, descend dans l'eau avec deux degrés de vitesse, au lieu de remonter⁷ du fond vers la surface comme elle le fait ;*

[...] Mais puisque la boule de bois ne va pas vers le fond, vous m'accorderez, je pense, qu'on peut trouver une autre boule faite d'un matériau différent du bois, et qui descendrait dans l'eau avec deux degrés de vitesse [au lieu de remonter comme le fait le bois].

SIMPLICIO : *On le peut certainement, mais la matière [de cette autre boule] devrait être nettement plus pesante que le bois.*

SALVIATI : *A coup sûr. Mais cette deuxième boule qui descend dans l'eau avec deux degrés de vitesse, avec quelle vitesse descendrait-elle dans l'air ? Si vous voulez suivre la règle d'Aristote, il vous faut répondre qu'elle tombera avec vingt degrés [de vitesse] dans l'air ; or vous avez vous-même assigné vingt degrés de vitesse à la boule de bois [dans l'air] : par conséquent, et bien que la seconde soit beaucoup plus pesante que la première, elles tomberont dans l'air avec une même vitesse. Comment le Philosophe accorde-t-il alors cette conclusion avec [sa supposition] que des mobiles de poids différents se meuvent dans le même milieu avec des vitesses différentes, et dans la même proportion que leur poids ?”⁸*

3. Outre les deux hypothèses avancées par Aristote, Salviati s'appuie au cours de son raisonnement sur une troisième hypothèse qu'il présente comme une évidence expérimentale qu'il ne se préoccupe nullement de justifier. Quelle est cette troisième hypothèse ? [1 point]

4. Reprenez précisément l'ensemble du raisonnement de Salviati. Que démontre-t-il ici ? S'agit-il d'un raisonnement par l'absurde ? [4 points]

5. Salviati peut-il déduire de ce raisonnement que le vide existe, contrairement à ce que pensait Aristote ? [1,5 points]

II. SUR L'EXPÉRIENCE DE TORRICELLI

(9 points)

L'objet de cette partie est d'étudier l'expérience dite “de Torricelli”, à température constante. Soit donc un tube de un mètre de haut, rempli de mercure, retourné et plongé dans un récipient contenant lui-même du mercure. L'ensemble est disposé à l'air libre. On appellera “hauteur du mercure dans le tube” la différence entre le niveau supérieur du mercure dans le tube d'une part et le niveau du mercure au contact de l'air à la surface du récipient dans lequel le tube est plongé d'autre part. On supposera enfin que l'expérience se déroule à une température extérieure de 29 degrés Celsius.

⁶ Salviati parle ici des corps pesants dont la densité est supérieure à celle de l'air mais inférieure à celle de l'eau, et qui donc – en vertu de la poussée d'Archimède – subissent dans l'eau une force de pression dirigée vers le haut qui est supérieure ou égale à leur gravité.

⁷ Voir la note 6.

⁸ [1], pp. 56–57.

6. On admettra dans cette question que l'espace qui se trouve à l'extrémité supérieure du tube renversé – donc dans la cavité au-dessus de la colonne de mercure – est absolument vide de toute matière. On désignera par $h_m^{(0)}$ la hauteur de mercure dans le tube.

a, En écrivant l'équilibre de la colonne de mercure dans le tube, montrer que :

$$h_m^{(0)} = \frac{P_a}{\rho_m g}$$

où $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ et $P_a = 100 \text{ kPa}$ sont respectivement le champ gravitationnel et la pression atmosphérique à la surface de la Terre, et $\rho_m = 13568 \text{ kg/m}^3$ la masse volumique du mercure. Faire un dessin. [2 points]

b, Calculer $h_m^{(0)}$. [0,5 points]

En réalité, et contrairement à ce que nous avons supposé jusqu'ici, la cavité au-dessus de la colonne de mercure n'est pas totalement vide. En effet, quand on retourne le tube, le mercure qui se trouve dès lors à la surface supérieure de la colonne est subitement soumis à une pression beaucoup plus faible qu'auparavant, ce qui le conduit à se vaporiser. Cette vaporisation a pour effet de remplir la cavité supérieure du tube d'un gaz de mercure et donc d'élever à nouveau progressivement la pression exercée sur le mercure liquide situé au sommet de la colonne. Le processus de vaporisation s'interrompt quand la pression atteinte au sommet du tube correspond au point d'équilibre thermodynamique entre liquide et gaz à température ambiante, prévu par le diagramme d'équilibre des phases du mercure. Cette pression limite à température ambiante est appelée *pression de vapeur saturante* du mercure, et elle est indépendante du volume de la cavité.

7. En utilisant un raisonnement similaire à celui de la question 6, mais en tenant compte cette fois-ci de la pression de vapeur saturante, déterminer la hauteur "réelle" h_m de la colonne de mercure dans le tube. Faire un dessin. L'écart entre $h_m^{(0)}$ et h_m était-il, selon vous, mesurable par les expérimentateurs du *XVII^e* siècle? (*donnée* : la pression de vapeur saturante du mercure à 29°C est $P_{s,m} = 0,373 \cdot 10^{-3} \text{ kPa}$). [2,5 points]

Depuis le *XVII^e* siècle, de nombreuses techniques de production du "vide" ont été mises au point. Ces dernières ne produisent bien évidemment pas un vide parfait, mais elles s'en approchent. La qualité du vide ainsi produit dans un tube sera mesuré ici par un coefficient qui est le quotient de la densité des particules encore présentes dans la cavité par la densité de l'air atmosphérique à la surface de la terre.

8. En tenant compte de la pression de vapeur saturante, vous déterminerez la qualité du vide produit lors de l'expérience de Torricelli (*données* : on assimilera le gaz contenu dans la cavité et l'air atmosphérique à des gaz parfaits régis par l'équation d'état $PV = Nk_B T$, où P est la pression, V le volume, N le nombre de particule du gaz, $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J.mol}^{-1}$ la constante de Boltzmann et T la température ambiante). [2 points]

A titre de comparaison, calculer le coefficient associé à l'expérience dans laquelle on remplace le mercure par de l'eau (*donnée* : la pression de vapeur saturante de l'eau à 29°C est $P_{s,e} = 4 \text{ kPa}$). Conclure. [2 points]

RÉFÉRENCES

1. GALILÉE (1638), *Discours concernant deux sciences nouvelles*, Armand Colin, Paris, 1970.