Philosophia Scientiæ

Travaux d'histoire et de philosophie des sciences

14-2 | 2010

Louis Rougier, De Torricelli à Pascal

– Chapitre II – L'hypothèse de Torricelli et l'Expérience

Louis Rougier

Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/philosophiascientiae/178>

DOI : 10.4000/philosophiascientiae.178

ISSN : 1775-4283

Éditeur

Éditions Kimé

Édition imprimée

Date de publication : 1 octobre 2010

Pagination : 63-68

ISBN : 978-2-84174-536-4

ISSN : 1281-2463

Référence électronique

Louis Rougier, « – Chapitre II – L'hypothèse de Torricelli et l'Expérience », *Philosophia Scientiæ* [En ligne], 14-2 | 2010, mis en ligne le 01 octobre 2013, consulté le 17 janvier 2021. URL : <http://journals.openedition.org/philosophiascientiae/178> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/philosophiascientiae.178>

Tous droits réservés

– Chapitre II –

L'hypothèse de Torricelli et l'Expérience

1 – Objection physique tirée de l'évaluation de la densité de l'air

Comme si les objections théoriques précédentes ne suffisaient pas à obscurcir les esprits, des raisons d'ordre physique et expérimental achevaient de les dérouter.

Nous avons vu comment l'interprétation correcte de l'expérience de Torricelli se trouve liée à l'affirmation de cette thèse, rejetée en général par les péripatéticiens : l'air est pesant, même dans l'air. Or, avant la seconde moitié du XVI^e siècle, il n'apparaît pas qu'aucun physicien ait eu recours à l'expérience pour démontrer la gravité de l'air et en déterminer sa grandeur. La première tentative pour comparer la gravité de l'air à celle de l'eau remonte à Jérôme Cardan en son *Opus novum de proportionibus*, publié au mois de mars 1570. Bien que sa dynamique s'écarte en de notables points de celle d'Aristote, les propositions au sujet de la résistance qu'offre un milieu au mouvement des projectiles, sur lesquelles il s'appuie pour comparer la densité de l'air à celle de l'eau, ne reposent sur aucun fondement sérieux. Aussi ne saurait-on être surpris du résultat qu'il obtient : le poids spécifique de l'eau est au poids spécifique de l'air dans le rapport de cinquante à l'unité.

D'une toute autre teneur sont les *Essays de Jean Rey, docteur en médecine, sur la recherche de la cause pour laquelle l'Estain et le Plomb augmentent de poids, quand on les calcine*, parus à Bazas en 1630¹⁴.

Pourquoi, lorsqu'on calcine l'étain le transforme-t-on en une chaux très blanche, dont le poids surpasse notablement celui du métal qu'on a employé ? Cette question, dont la solution, établie par Lavoisier dans son célèbre mémoire de 1774, devait révolutionner la chimie, avait été souvent discutée, avant que Sieur Brun, apothicaire à Sarlat, la pose à son ami Jean Rey, médecin au Bugne en Périgord. Pour y répondre, Jean Rey composa, en une langue qui rappelle Montaigne, d'autres *Essays* qui devaient en faire le précurseur de Lavoisier en chimie, l'émule heureux, en physique, de Baliani, de Marsenne, de Torricelli, de Descartes et de Pascal.

À la question du Sieur Brun, son ami fit cette réponse :

14. *Essays de Jean Rey, docteur en médecine*. Édition nouvelle avec commentaires publiée par Maurice Petit, pharmacien 1^{re} classe, Paris 1777. Rééditée par Hermann, en 1907.

Que ce surcroit de poids vient de l'air, qui, dans le vase, a esté espessi, appesanti et rendu aucunement adhésif, par la véhémence et longuement continuée chaleur du fourneau ; lequel air se mesle avecques la chaux (à ce aydant l'agitation fréquente) et s'attache à ses plus menuës parties : non autrement que l'eau appesantit le sable que vous iettez et agitez dans icelle, par l'amoitir et adhérer au moindre de ses grains. . . [Or,] à cette cause m'a-t-il fallu faire voir que l'air auoit de la pesanteur¹⁵.

Que l'air soit pesant, son explication de l'augmentation du plomb et de l'étain, quand on les calcine, le suppose en effet : aussi, est-ce à prouver cette proposition qu'il emploie une bonne partie de ses *Essays*. Toutefois, pour l'établir, à la balance, qui lui eût fourni une détermination expérimentale, il préfère recourir au raisonnement, qui seul est capable de discerner les causes d'erreurs dont les résultats des pesées brutes ne sont pas exemptes. C'est donc « par la raison » que Jean Rey établira cette proposition :

Tout ce qui est de matériel sous le pourpris des cieux a de la pesanteur. [...] C'est par cette qualité, dont la matière des quatre éléments est plus ou moins revestue, qu'ils sont séparez entr'eux, et portez chacun en son lieu, selon que requiert la generation des mixtes et l'ornement de l'Vnivers. . . Vray est que la terre, comme plus pesante, . . . forçant ses confraires à la retraite, fait que l'eau, seconde en pesanteur, soit aussi seconde en place : si que l'air, chassé du plus bas et second lieu, se restreint au troisieme : laissant au feu, le moins pesant de tous, la supreme region pour faire sa demeure¹⁶.

De ce qui s'imprimait en France ou à l'étranger, touchant la géométrie, la mécanique et la physique, rien n'était ignoré de l'infatigable père Mersenne. Les *Essays* lui suggérèrent des réflexions qu'il manda à son auteur, auxquelles celui-ci fit réponse, à quoi Mersenne répliqua. Ces trois lettres furent publiées dans la seconde édition de l'ouvrage de Jean Rey, parue à Paris, en 1777. La première est datée du 1^{er} septembre 1631 ; la seconde, du 1^{er} de l'an 1632 ; la troisième, des premiers jours d'avril 1632. Dans cette dernière, le [Minime ?] s'exprimait ainsi :

15. *Essays*, p. 50–51.

16. *Essays*, p. 15–16.

Je pense avoir trouvé le moyen de peser l'air et de savoir combien est plus léger l'argent et les autres corps tant solides que liquides : mais, je n'ai pas encore la commodité de peser, à raison des instruments qu'il faut avoir.

Telle fut l'origine des recherches de Mersenne sur le poids spécifique de l'air.

Ses premières tentatives furent exposées en diverses parties du volumineux ouvrage qui parut à Paris, en 1636, sous le nom d'*Harmonie universelle*.

Deux procédés sont d'abord imaginés, dont l'un n'est autre que l'expérience des *baroscopes*, pour établir que l'air est pesant, puis que l'air raréfié par la chaleur pèse moins que l'air froid¹⁷. Une seconde série d'expériences, ayant pour but de déterminer le poids spécifique de l'air, le conduisit à ce résultat :

La vitesse du mouvement de l'air est à celle du mouvement de l'eau, comme la pesanteur de l'eau à celle de l'air, c'est-à-dire 1870 à 1.¹⁸

Cependant, Galilée avait institué un procédé expérimental pour déterminer le poids spécifique de l'air, qu'il fit connaître à quelques-uns de ses correspondants et qu'il publia en 1638 dans ses *Discorsi*. Le procédé consiste à condenser, à l'aide d'une seringue, de l'air dans un flacon, que l'on pèse avant et après, de façon à obtenir le poids de l'air ainsi refoulé, puis à laisser s'échapper celui-ci dans un flacon plein d'eau. L'eau, chassée par l'air, est recueillie, en sorte qu'on connaît le poids d'un volume d'eau égal au volume d'air refoulé par la seringue. Le poids de ce volume d'air ayant été déterminé par les deux pesées précédentes, le poids spécifique de l'air peut ainsi être évalué. L'expérience, dont Galilée ne rapporte pas les circonstances, l'amène à ce résultat :

L'eau est plus grave que l'air non pas seulement dix fois, comme l'estimait Aristote, mais quatre cents fois, ainsi que le montre cette expérience.

Nous savons aujourd'hui que la densité de l'eau est égale, non pas à 400, mais à 773 fois la densité de l'air. La fausse mesure de Galilée, acceptée par Torricelli dans sa lettre à Ricci, allait soulever contre sa propre hypothèse de la « colonne d'air » l'objection la plus embarrassante.

17. Livre premier ; *De la nature et des propriétés du son*, p. 29.32.

18. *Nouvelles observations physiques et mathématiques*, p. 1-3.

Hélas ! Les nombres qu'allaient par la suite proposer Descartes, puis, à nouveau, le père Mersenne, n'étaient pas faits pour lever la difficulté : en une lettre du 19 janvier 1642, Descartes mande au Minime que le rapport du poids de l'eau à celui de l'air est de 1 à 145. Sa méthode consiste à peser une cornue pleine d'air terminée par un orifice fort étroit, d'abord à froid, puis à chaud ; plongeant alors le bec dans l'eau, l'air se condense en se refroidissant et il rentre dans la cornue autant d'eau que la chaleur en avait expulsé d'air. En pesant la cornue dans le nouvel état, on obtient le rapport du poids de l'air à celui de l'eau. Le père Mersenne n'avait pas attendu la lettre de Descartes pour procéder à des essais analogues, comme on en juge par la correspondance avec Jean Rey, annexée aux *Essays*, qui reprend en 1643. Il découvre, par le même procédé opératoire, 225 au lieu de 145. Descartes écrit à son correspondant, à diverses reprises, pour discuter avec lui les causes d'erreur que comporte cette nouvelle technique, qui, perfectionnée, sera utilisée plus tard par J. B. Dumas pour la détermination des densités de vapeur. De son côté, Mersenne procède, en présence « de géomètres et de leurs aides », à de nouvelles expériences qu'il publie dans les *Cogitata physico-mathematica* (Prop. XXI). Elles lui donnent le nombre 1356/1 comme rapport entre la densité de l'eau et celle de l'air, et ce nouveau nombre contribue peut-être à lever pour lui la plus grave objection contre l'hypothèse de la colonne. Quoi qu'il en soit, celle-ci se heurte longtemps à une mauvaise évaluation de la densité de l'air, tout comme l'hypothèse de la gravitation fut abandonnée par Newton pendant dix ans, par suite d'une mesure erronée de la longueur d'un degré de méridien terrestre.

2 – Objections physiques auxquelles prêtaient les expériences jugées démonstratives de l'existence du vide

Les expériences jugées propres à établir l'existence du vide allaient, de leur côté, soulever de graves objections physiques.

Le procédé utilisé par Torricelli consistait à remplir de mercure un tube fermé à un bout, à poser le doigt sur l'extrémité ouverte en aplatisant le ménisque, de façon à chasser l'air aussi complètement que possible, puis à retourner le tube bout à bout en plongeant l'extrémité inférieure dans une cuve pleine de mercure et à retirer le doigt. Le mercure descend alors dans la cuve. Ce procédé très rudimentaire est mauvais, car de l'air reste interposé entre la paroi du tube et le mercure, qui remonte peu à peu dans la chambre barométrique, où le vide cesse d'être parfait. Roberval pensera établir l'impossibilité du vide en chauffant la chambre : le mercure descend dans le tube, parce que l'air subsistant

se dilate. En introduisant dans un baromètre un peu d'eau et d'alcool au-dessus du mercure, il constate que la colonne mercurielle se déprime, et plus dans le cas de l'alcool que dans celui de l'eau, ce qu'il se résigne à expliquer par une « raréfaction spontanée » des vapeurs de l'eau et de l'alcool. Il en conclut correctement que la colonne mercurielle mesure seulement la différence entre la pression extérieure de l'atmosphère et la pression interne qui règne dans la chambre barométrique.

À Rouen, en novembre 1646, Pascal répète l'expérience de Torricelli avec du vin rouge. Sur un madrier, il fixe un tube de verre de 46 pieds fermé à un bout. Il l'emplit de vin, obture l'extrémité ouverte, relève verticalement madrier et tube, l'extrémité bouchée venant plonger en bas d'un pied dans un baquet plein d'eau. Il le débouche alors : le vin descend environ à 32 pieds, laissant en haut du verre « un espace d'environ 13 pieds, vide en apparence, où de même il ne paraît qu'aucun corps ait pu succéder ». En quoi il se trompe. Nous savons aujourd'hui que cet espace est plein d'un mélange de vapeurs d'eau et d'alcool.

Ignorant la vaporisation instantanée d'un liquide dans le vide, Pascal, dans l'équilibre qui s'établit entre la pression extérieure et la colonne liquide soulevée, ne tient pas compte de la pression engendrée, à l'intérieur de la chambre barométrique par la vapeur saturante du liquide à la température de l'expérience. Il propose alors à ses adversaires de lui dire comment se comporteraient, l'un par rapport à l'autre, dans l'expérience précédente, le vin et l'eau. Pour lui, il ne fait pas de doute que, la densité du vin étant inférieure à celle de l'eau, la colonne de vin ne soit plus haute que celle de l'eau. Or, cela n'était pas sûr *a priori* et le contraire eût pu se produire, si l'on tient compte que la pression de la vapeur de vin est plus grande que la pression de la vapeur d'eau. Pour fixer les idées, en opérant à la température de 30 ° avec de l'eau et de l'alcool purs, on a pour les densités respectives 0,996 et 0,779 et pour les pressions évaluées en centimètres d'eau, 43 et 107, soit une différence de 64 centimètres pour ces dernières. Comme la valeur de la tension d'une vapeur, en vertu de la règle des phases de Gibbs, est indépendante des volumes des liquides, on voit que, si au lieu d'opérer avec un tube de 15 mètres, Pascal se fût servi d'un tube suffisamment court, ou encore, l'écart entre les deux pressions augmentant avec la température, s'il eût opéré à une température sensiblement plus élevée, le résultat aurait pu tourner contre son attente à sa propre confusion.

Dans ses *Nouvelles expériences du vide*¹⁹, Pascal modifie la technique de Torricelli en utilisant un tube vertical et un piston parfaite-

19. [NdE – *Expériences nouvelles touchant le vide*, 1647.]

ment ajusté : c'est l'expérience de la pompe aspirante en remplaçant l'eau par le mercure. Il trouve que l'espèce de « syringe²⁰ » ainsi constituée pèse le même poids, quel que soit l'espace S ménagé au-dessus du mercure, à partir du moment où le piston quitte le mercure. Par là, il veut démontrer que l'espace S est bien vide, puisqu'il ne pèse pas. À la vérité, cette expérience, qui semble ignorer la pesanteur de l'air, faite avec une grande précision, donnerait un résultat trop favorable : en vertu du principe d'Archimède, la poussée de l'air extérieur, dirigée de bas en haut augmente en même temps que l'espace S , si bien que l'on doit trouver un poids décroissant à mesure que S croît : le vide aurait alors un poids négatif.

Pour revenir à l'observation initiale, à celle des fontainiers de Florence : si l'on considère une pompe aspirante, en opérant avec de l'eau plus ou moins chaude, on peut faire varier la hauteur à partir de laquelle le piston se détache de la colonne d'eau soulevée d'un certain maximum jusqu'à zéro : on peut même obtenir des valeurs négatives.

Ce n'est donc pas le moins piquant de cette histoire : *le problème de l'existence du vide se posait pour les contemporains de Torricelli et de Pascal, dans un cas où il était loin de se réaliser ; Pascal inférait des principes justes en partant d'expériences incorrectement interprétées ; ses adversaires interprétaient correctement des expériences en partant de principes faux.*

20. [NdE – seringue.]