Philosophia Scientiæ

Travaux d'histoire et de philosophie des sciences

14-2 | 2010

Louis Rougier, De Torricelli à Pascal

– Chapitre XIII – Le génie de Pascal

Louis Rougier

Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/philosophiascientiae/191>

DOI : [10.4000/philosophiascientiae.191](https://doi.org/10.4000/philosophiascientiae.191)

ISSN : 1775-4283

Éditeur

Éditions Kimé

Édition imprimée

Date de publication : 1 octobre 2010

Pagination : 219-227

ISBN : 978-2-84174-536-4

ISSN : 1281-2463

Référence électronique

Louis Rougier, « – Chapitre XIII – Le génie de Pascal », *Philosophia Scientiæ* [En ligne], 14-2 | 2010, mis en ligne le 01 octobre 2013, consulté le 22 janvier 2021. URL : <http://journals.openedition.org/philosophiascientiae/191> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/philosophiascientiae.191>

Tous droits réservés

– Chapitre XIII – Le génie de Pascal

1 – *Les Traités posthumes*

Le *Traité du vide*, soi-disant prêt à paraître en octobre 1647 — dont l'*Abrégé* n'était qu'un avant-goût —, dont le *Récit* nous reparle comme de publication imminente à la fin de 1648, donné pour achevé dans la *Lettre à M. de Ribeyre* le 12 juillet 1651, ne devait jamais voir le jour. La raison en est simple. Uniquement soucieux, en 1647, d'établir la réalité du vide dans la chambre barométrique, Pascal fut postérieurement informé des idées de Torricelli et convaincu, par les expériences de Roberval, que le *vacuum* de la chambre barométrique ne comportait qu'un vide relatif. Dès lors, il ne cherche plus qu'à vérifier l'hypothèse de la pression atmosphérique. Aussi est-il tout à fait factice de chercher à identifier les deux *Traités posthumes*, rédigés en 1651 d'après le témoignage de Périer dans la *Préface* de 1663, avec le traité fantôme dont l'*Abrégé* nous détaillait ainsi le contenu :

J'ai divisé le *Traité* entier en deux parties, dont la première comprend le récit au long de toutes mes expériences avec les figures, et une récapitulation de tout ce qui s'y voit, divisée en plusieurs maximes ; et la seconde, les conséquences que j'en ai tirées, divisées en plusieurs propositions où j'ai montré que l'espace, vide en apparence, qui a paru dans les expériences, est vide en effet²²⁶...

Vainement chercherait-on un tel programme dans le *Traité de l'équilibre des liqueurs* et le *Traité de la pesanteur de la masse de l'air* ; vainement y rechercherait-on la longue introduction historique, rendant à chacun de ses devanciers sa part, promise dans la *Lettre à M. de Ribeyre*. Les préoccupations de Pascal sont tout autres. Il se désintéresse de l'existence réelle du vide, mais n'a d'autre dessein que d'expliquer les effets, communément attribués à l'horreur du vide, par la pesanteur de l'atmosphère, en établissant un parallèle rigoureux entre les effets de la pesanteur de l'air et ceux de la pesanteur des liquides. Il ne se contente pas de ramener ainsi la pneumatique à l'hydrostatique. Sa principale préoccupation est de classer déductivement toutes les lois découvertes par ses devanciers, en partant d'un principe général qu'avait indiqué Benedetti : le principe

226. *P. B.*, II, p. 61.

de l'équipartition de la pression, lui-même rattaché au principe fondamental de la statique, formulé par Torricelli. En son *Traité de l'équilibre des liqueurs*, il ne trouve aucune proposition qui ne tire son origine de Mersenne, de Stevin, de Benedetti, de Galilée, de Torricelli, de Descartes, mais l'ordre déductif dans lequel il les range est essentiellement nouveau.

Comme l'écrit très justement Duhem :

Que l'on ne dise pas que Pascal n'a rien fait de nouveau en Hydrostatique ; la disposition des matières est nouvelle.

Mersenne a tout lu de ce qui a été écrit sur l'équilibre des liqueurs, mais c'est sans aucune règle ni méthode qu'il présente, en ses écrits sans ordre, les extraits de ses lectures et ses réflexions personnelles.

Benedetti a aperçu, grâce sans doute à la tradition de Léonard de Vinci, une grande vérité, mais il n'en a tiré aucun corollaire, pas même le principe de la presse hydraulique qui s'offrait, pour ainsi dire, de lui-même.

Stevin, malgré la sévérité et la rigueur logique qu'il affecte en ses écrits, n'a pas vu que la loi de la pression exercée par un liquide sur une paroi contenait en elle les propriétés des corps flottants ou immergés ; il a tout d'abord établi ces propriétés sur une méthode directe et sans les rattacher à la loi fondamentale de l'Hydrostatique, qu'il n'a pas reliée elle-même aux principes de la statique.

Galilée, au contraire, s'est efforcé de ramener les propriétés des corps flottants ou immergés aux lois générales de l'équilibre ; mais il n'a pas tiré de ces lois la grandeur de la pression qu'un liquide exerce sur les parois qui le contiennent.

Descartes et Torricelli, enfin, ont formulé deux principes généraux, dont chacun est propre à donner toute la Science de l'équilibre, mais ni l'un ni l'autre de ces deux géomètres n'a fait l'application de son principe à l'équilibre des liquides.

Toutes ces vérités qui doivent constituer l'hydrostatique ont donc été découvertes, mais elles gisent pêle-mêle et sans rapport entre elles, attendant celui qui les ordonnera, qui les reliera les unes aux autres, qui, de ces matériaux épars, construira une doctrine logique et harmonieuse.

Pascal fut cet organisateur.

On s'explique alors mainte particularité du *Traité de l'équilibre des liqueurs* ; on comprend alors pourquoi le nom de l'inventeur n'accompagne l'énoncé d'aucune proposition, pour quoi Pascal n'a cité aucun de ses prédécesseurs, pas même Archimède, pas même le P. Mersenne, qui fut son ami et initiateur en hydrostatique... Ne revendiquant rien pour lui-même des vérités qu'il se proposait d'ordonner, il n'avait pas à faire la part d'autrui.

Il n'a pas voulu dire des nouveautés, mais seulement ranger en une suite méthodique ce que les autres avaient dit avant lui ; et il n'a pas jugé que cette tâche fut indigne de son génie car, pour la mener à bien, il fallait une extrême droiture d'esprit²²⁷.

Peut-être jugera-t-on bien prévenante la raison qu'allègue Duhem pour excuser Pascal de ne citer aucun de ses devanciers. À tout le moins, en tirera-t-on une nouvelle preuve que les *Traités posthumes* n'ont rien à voir avec le *Traité* dont les *Expériences nouvelles* étaient l'*Abrégé* et dont parlait une dernière fois la *Lettre à Ribeyre* :

On verra distinctement [dans ce *Traité*], qui sont les véritables auteurs de toutes les nouvelles vérités qui ont été découvertes en cette matière. Dans ce détail, on trouvera exactement et séparément ce qui est de l'invention de Galilée, ce qui est de celle de Torricelli et ce qui est de la mienne.

Le nom de Torricelli ne se lit nulle part dans le *Traité posthume* et Galilée n'est rappelé que pour dire qu'il s'est fourvoyé à poursuivre l'horreur du vide.

2 – Le principe de Pascal et le rejet du principe scolastique : les éléments ne pèsent pas en eux-mêmes

Le *Traité de l'équilibre des liqueurs* n'eut pas seulement pour mérite de préciser la notion de pression et de coordonner déductivement les principes de l'hydrostatique. Sa portée est, historiquement, plus considérable. Il rejette définitivement le dogme de l'École : *les éléments ne pèsent pas en eux-mêmes*, qui excluait l'idée de la transmission des pressions à l'intérieur d'un fluide.

227. P. Duhem, « Le principe de Pascal », ap. *Revue générale des sciences*, 1905, p. 609–610.

Pour rendre compte, par la pression atmosphérique de tous les effets attribués à l'horreur du vide, il ne suffit pas, contre les scolastiques, d'établir que l'air est pesant lorsqu'il se trouve dans son lieu naturel, c'est-à-dire lorsqu'il se trouve de toutes parts environné d'air. Aristote avait admis que les éléments pèsent dans leur propre lieu, mais il alléguait, pour le prouver au sujet de l'air, une expérience, celle de l'outre gonflée, qui nuit à la solidité de sa thèse, lorsqu'on eut établi qu'elle était mal interprétée. Désormais, l'avis contraire prévalut²²⁸. Ptolémée, vers la fin du second siècle, enseigne que l'air ne pèse pas dans l'air, parce qu'une outre gonflée est, non pas plus pesante, mais plus légère que dégonflée ; l'eau non plus ne pèse pas dans l'eau, parce que les plongeurs, même à de grands fonds, ne sentent pas le poids de la colonne d'eau qui est au-dessus d'eux. Themistius, vers 350, niait que l'air fût pesant dans l'air, parce que l'air ne resterait pas dans son lieu naturel ; et Simplicius, vers 529, formula le principe que devait accepter la Scolastique : *les éléments ne pèsent pas dans leur lieu propre*. L'autorité d'Aristote faussée par ses commentateurs fut corroborée par un faux Archimède. En pur géomètre, le mécanicien de Syracuse avait déterminé les conditions d'équilibre d'un corps plongé dans l'eau ou qui flotte à sa surface. Or, on lui attribua un traité *De Ponderibus*, vraisemblablement composé au XIII^e siècle, où se retrouve le postulat qu'aucun corps ne pèse en lui-même : l'eau ne pèse pas dans l'eau, l'huile dans l'huile, etc. Ce principe semblait de sens commun : s'il en eut été autrement, comment les plongeurs dans l'eau ne seraient-ils pas écrasés ?

Le premier, Simon Stevin attaqua ce principe, en montrant par ses expériences que l'eau pèse dans l'eau et que la pression exercée par les couches supérieures sur les couches inférieures se transmet de haut en bas, de bas en haut et latéralement. Il trouva la mesure exacte de cette pression et fut ainsi l'inventeur du principe fondamental de cette science de l'équilibre des liquides, à laquelle il donna en 1586 le nom d'*hydrostatique*. Vers la même époque, dès 1543, Tartaglia commença la publication d'une traduction latine des œuvres d'Archimède, en particulier de son *Traité des corps flottants*. En 1565, Commandin la publia intégralement et, peu après, Galilée en fit son étude. Or, lui qui découvrit des démonstrations nouvelles sur l'équilibre des fluides avec les solides qui y sont plongés, ne sut pas dégager le principe de l'égalité de la transmission des pressions qui leur sert de fondement. Stevin, qui avait découvert ce principe, ne sut pas le rattacher à son tour aux principes généraux de la mécanique. Torricelli énonça un principe, à partir du-

228. Consulter : Thurot, « Sur le principe d'Archimède », ap. *Revue archéologique*, de décembre 1868 à janvier 1869.

quel on peut développer toute la statique : deux graves, liés ensemble, ne peuvent se mouvoir d'eux-mêmes, à moins que leur centre commun de gravité ne descende. Descartes en formula un autre, dont la fécondité n'est pas moindre :

[« [...] il ne faut ni plus ni moins de force pour lever un corps pesant à une certaine hauteur que pour en lever un autre moins pesant à une hauteur d'autant plus grande qu'il est moins pesant, ou pour en lever un plus pesant à une hauteur d'autant moindre »²²⁹]

Mais ni l'un ni l'autre n'eurent l'idée d'appliquer leur axiome à l'hydrostatique et à la pneumatique. Pour rattacher la science créée par Stevin à la science de l'équilibre dont Torricelli et Descartes avaient trouvé, sous deux formes différentes, le principe fondamental, il fallait à la fois l'esprit de géométrie et de finesse de Blaise Pascal.

Celui-ci commence par étudier les lois de l'équilibre des corps immergés et flottants. La pesanteur et la pression de l'eau sur tout corps flottant ou immergé dépend de l'étendue de la surface pressée et de la hauteur du liquide jusqu'à son niveau. C'est ce qu'il vérifie au moyen de plusieurs tuyaux, dont la forme et la largeur varient extrêmement, mais dont le fond est toujours le même. Il définit la loi simple de la *transmission des pressions en tous points d'une paroi* : toute pression exercée sur une portion plane de la surface d'un liquide se transmet intégralement, à travers sa masse, à chaque portion égale des parois du vase qui le renferme. Il en déduit le *principe de l'équilibre des liquides* : prenons donc pour véritable qu'un vaisseau plein d'eau ayant des ouvertures, et des forces à ces ouvertures qui leur soient proportionnées, elles sont en équilibre²³⁰.

Il considère ensuite, non plus ce qui se passe sur les parois et sur le fond d'un vase, mais au sein de la masse d'eau que celui-ci contient, ce que Stevin avait omis d'examiner. Si on immerge un corps dur, l'eau, étant en contact avec lui de toutes parts, doit le pousser de tous côtés. Or, sa hauteur jusqu'à la surface est la mesure de la force avec laquelle elle le pousse. Sur un plan horizontal, la pression de l'eau étant égale sur ses différents côtés, elle le pousse également, si bien que le corps demeure en équilibre et ne bouge « pas plus qu'une girouette entre deux vents égaux ». Mais verticalement, l'eau a plus de hauteur sur la base que sur la face d'en haut : elle pousse donc le corps de bas en haut,

229. [NdE – Rougier a laissé ici un blanc, en se proposant sans doute de le remplir ultérieurement, ce que nous faisons à sa place. A. T., II, p. 222.]

230. P. B., III, p. 168.

avec une force égale à la différence des deux niveaux de l'eau, c'est-à-dire à la hauteur du corps immergé. Dès lors, le corps se trouve dans l'eau « comme dans un bassin de balance, dont l'autre serait chargé d'un volume d'eau égal au sien ». Si le corps est plus lourd que l'eau, il tombe au fond ; plus léger, il monte à la surface ; si c'est un seau d'eau qu'on tire, on n'en sent pas le poids. C'est ainsi que Pascal tire du principe de l'égalité de la transmission des pressions la démonstration du principe d'Archimède : ce qui est vrai des corps durs, l'est des corps compressibles et vivants. Négligeons les premiers. Si les animaux dans l'eau n'en sentent pas le poids, ce n'est pas parce que l'eau ne pèse pas dans l'eau, mais parce que l'eau qui les environne les presse également de tous côtés. Il en est de même des hommes dans l'air. En effet, les conditions d'équilibre dans l'air sont les mêmes que dans l'eau, et la pression s'exerce de la même manière.

En partant du principe de l'égalité de la pression dans l'eau et dans l'air, Pascal explique tous les effets attribués à l'horreur du vide : l'ascension de l'eau dans les seringues et dans les pompes n'est qu'un effet particulier de cette règle générale : une liqueur étant pressée en toutes ses parties, excepté en une seule par le poids d'une autre liqueur, ce poids la pousse vers l'endroit où elle n'est point pressée.

Dans son *Traité de l'équilibre des liqueurs*, Pascal ne se borne pas à définir, par des expériences précises, ce que l'on doit entendre par la pression en un point d'un liquide et à en faire connaître les lois. Il rattache ces lois « pour ceux qui sont géomètres » aux principes généraux de la statique, formulés antérieurement par Torricelli et Descartes : à celui de Torricelli, à savoir « que jamais un corps ne se meut par son poids, sans que son centre de gravité descende²³¹ », au principe des déplacements virtuels qui, soupçonnés dès le XIII^e siècle par l'École de Jordanus, utilisé par Galilée, fut formulé avec les précisions nécessaires par Descartes, à savoir qu'« en toutes les machines, le chemin est augmenté en même proportion que la force²³² », auquel il rattache, par un pressentiment génial, la théorie de la presse hydraulique.

Toutefois, Pascal ne montre pas pourquoi ces deux principes s'accordent en toutes leurs conséquences.

Peut-être, entreprenait-il de le démontrer dans un *Traité de mécanique*, qui ne nous est pas parvenu, où il semble s'être efforcé d'exposer déductivement toute la statique, en y ramenant, comme autant de cas particuliers, l'équilibre des solides, des liquides et des gaz. Tout ce qu'il

231. P. B., III, p. 166.

232. P. B., III, p. 163.

nous en dit est contenu dans un passage du *Traité de l'équilibre des liqueurs*. Au chapitre II, on lit :

J'ai démontré par cette méthode (en partant du principe de Torricelli), dans un petit *Traité de mécanique*, la raison de toutes les multiplications de forces qui se trouvent en tous les instruments de mécanique qu'on a jusqu'à présent inventés. Car, je fais voir en tous que des poids inégaux qui se trouvent en équilibre par l'avantage des machines sont tellement dispersés par la construction des machines, que leur centre de gravité commun ne saurait jamais descendre, quelque situation qu'ils prissent ; d'où il s'ensuit qu'ils doivent demeurer en repos, c'est-à-dire en équilibre²³³.

3 – Les pseudo-expériences de Pascal

Si Pascal exerce ainsi merveilleusement son génie de géomètre, il est curieux de constater, de la part d'un homme qui confesse que « les expériences sont les seuls principes en physique », qu'il invoque des expériences qu'il n'a pas faites et même qu'il lui était impossible de réaliser. C'est ce qu'établit Boyle dans un mémoire présenté à la Société royale de Londres, en mai 1664²³⁴. Ainsi, pour montrer que les liquides pèsent suivant leur hauteur, Pascal recommande d'employer des vases de formes variées ouverts par le bas et « bouchés par une pompe qui entre et coule dans cette ouverture avec tant de justesse qu'il n'y tienne pas et qu'il empêche néanmoins l'eau de sortir²³⁵ » ; ailleurs (chap. IV) pour établir la poussée de l'eau de bas en haut, il prescrit d'avoir un tuyau de vingt pieds de long, bouché à son extrémité inférieure par un « cylindre de cuivre fait autour avec tant de justesse, qu'il puisse entrer et sortir dans l'ouverture. . . et y couler sans que l'eau puisse du tout couler entre deux, et qu'il serve ainsi de piston, *ce qui est aisé à faire*. Boyle fait remarquer que des cylindres de cuivre ou des tampons faits avec cette justesse sont pure conception de géomètre, irréalisables pratiquement. Dans le chapitre IV²³⁶, Pascal avance qu'« un tuyau ouvert par en haut et par en bas, étant plein de vif-argent, et enfoncé dans une rivière, pourvu que le bout d'en haut sorte de l'eau, si le bout d'en bas est à quatorze pieds avant dans l'eau, le vif-argent tombera jusqu'à ce qu'il n'en reste

233. *P. B.*, III, p. 167–168.

234. Robert S. J. Boyle, *Hydrostatical paradoxes made out by new experiments : for the most part physical and easy*, (*Works*, II, p. 738 sq.) 1666.

235. *P. B.*, III, p. 158–159.

236. [NdE – En fait, chap. III.]

plus que l'eau ». Avec des tubes du diamètre de ceux dont on se servait dans l'expérience de Torricelli, remarque Boyle, la vitesse acquise par le mercure dans sa chute entraînerait tout hors du tuyau. Pascal n'a pas fait l'expérience et il la consigne avec les autres, parce qu'elle lui paraît résulter évidemment de ses principes.

Toujours, dans le chapitre VI, Pascal nous représente (figure XVIII) un homme au fond d'une cuve pleine d'eau appliquant sur sa cuisse un tuyau de verre dont l'extrémité supérieure s'ouvre à l'air libre. Sa chair s'enflera dans le tube, comme si elle était « sucée et attirée par une ventouse », parce que son corps est comprimé par l'eau de tous côtés, sauf dans la région protégée par le tube : la chair est alors « poussée des lieux où il y a de la compression au lieu où il n'y en a point, et plus il y a de hauteur d'eau, plus cette enflure est grosse ». Boyle fait remarquer qu'un homme ne peut pas continuer à vivre dans ces conditions.

Au chapitre VII, pour montrer qu'un animal peut supporter une pression très forte, mais égale sur tout son corps, Pascal rapporte l'expérience suivante :

Il faut avoir un tuyau de verre bouché par en bas, à demi plein d'eau, où on jette trois choses : savoir un petit ballon à demi plein d'air et un autre tout plein d'air, et une mouche (car elle vit dans l'eau tiède aussi bien que dans l'air) et mettre un piston dans ce tuyau qui aille jusqu'à l'eau. Il arrive que si on presse ce piston avec une telle force que l'on voudra, comme en mettant des poids dessus en grande quantité, cette eau pressée pressera tout ce qu'elle enferme. Aussi le ballon mol sera visiblement comprimé, mais le ballon dur ne sera non plus comprimé que s'il n'y avait rien qui le pressât, ni la mouche non plus, et elle ne sentira aucune douleur sous ce grand poids, car on la verra se promener avec liberté et vivacité le long du verre, et même s'envoler dès qu'elle sera hors de cette prison²³⁷.

Boyle conteste cette expérience que Pascal semble rapporter *de visu* :

À première vue, je dis qu'elle ne réussirait pas ; et en l'essayant, je ne fus pas trompé dans mes conjectures. . . En faisant l'expérience avec une grosse mouche, l'animal, comme je m'y attendais, fut noyé et perdit tout mouvement dans l'eau tiède²³⁸.

237. *P. B.*, III, p. 189.

238. *Hydr. Parad.*, app. II, p. 796.

La critique de Boyle nous confirme donc ce dont l'expérience pascalienne du vide dans le vide nous avait déjà averti. L'auteur du *Traité de l'équilibre des liqueurs* donne pour réalisées ou réalisables des expériences purement imaginaires, comportant des conditions expérimentales impossibles. L'expérience de la *Gravitas comparata*, celle de la *Lettre à Périer* pourraient bien appartenir à cette catégorie d'expériences purement imaginaires.