

## Le tricentenaire de « la grande expérience de l'équilibre des liqueurs » de Pascal.

In: Revue d'histoire des sciences et de leurs applications. 1949, Tome 2 n°3. pp. 225-240.

---

Citer ce document / Cite this document :

Brunold Charles. Le tricentenaire de « la grande expérience de l'équilibre des liqueurs » de Pascal. In: Revue d'histoire des sciences et de leurs applications. 1949, Tome 2 n°3. pp. 225-240.

doi : 10.3406/rhs.1949.2705

[http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/rhs\\_0048-7996\\_1949\\_num\\_2\\_3\\_2705](http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/rhs_0048-7996_1949_num_2_3_2705)

---

# Le tricentenaire de « la grande expérience de l'équilibre des liqueurs » de Pascal<sup>(1)</sup>

---

L'événement dont nous célébrons aujourd'hui le troisième centenaire (2) eut, à l'époque où il se produisit, un très grand retentissement. Il demeure une date importante dans l'histoire de la Science et un sujet de réflexion que le développement ultérieur de la physique n'a pas épuisé.

L'expérience célèbre, par laquelle Pascal devait prouver que l'ascension du mercure dans le tube barométrique était due à la pesanteur de l'air, allait prendre place parmi les belles découvertes qui illustrent le mouvement scientifique du début du XVII<sup>e</sup> siècle et font de cette époque l'une des plus brillantes et des plus fécondes.

Comme il arrive souvent, cette découverte n'a été possible que par l'action conjuguée de plusieurs grands esprits, et si le génie de Pascal a, là encore, laissé sa marque et permis d'apporter une réponse définitive à une question très controversée, cette réponse a été le couronnement d'un effort collectif.

Les hommes de notre temps, pour qui la carrière scientifique est devenue un métier très étroitement spécialisé, en raison même de l'extension extraordinaire de nos connaissances de toute nature et du perfectionnement des diverses techniques, ne peuvent être que pleins d'envie pour les esprits cultivés qui, à cette époque, embrassaient dans sa totalité l'étendue du savoir humain et consacraient leurs loisirs à l'étude des mathématiques, de la physique ou de l'astronomie, propageant par leur correspondance les nouvelles scientifiques, se communiquant les mémoires des grands

(1) On trouvera dans le livre très riche de M. Pierre Humbert : *L'œuvre scientifique de Blaise Pascal*, un récit plus détaillé que ne pourrait l'être celui-ci, et de l'expérience du Puy de Dôme et de tous les événements de l'époque qui lui sont liés.

(2) Cet article est en effet le texte d'un exposé présenté le 12 novembre 1948 au Centre International de Synthèse.

savants, discutant les résultats acquis, en y ajoutant parfois leur contribution personnelle.

Pour nous, l'existence de la pression atmosphérique n'est qu'une manifestation de la pesanteur de l'air. Il n'en était pas de même au début du XVII<sup>e</sup> siècle. On attribue à Aristote une tentative expérimentale destinée à montrer cette propriété ; mais, pour peser un récipient successivement plein et vide d'air et mettre en évidence la diminution de son poids, il fallait s'adresser à une enveloppe souple, comme une vessie, qu'on pouvait vider en la comprimant ; mais alors, on supprimait, dans cette opération, à la fois le poids de l'air qu'elle contenait et la poussée qu'elle subissait de la part de l'air ambiant, forces qui sont égales et opposées, si bien que la balance ne pouvait accuser aucune variation dans le poids de la vessie au cours de l'opération. Pour exécuter cette expérience comme on le fait aujourd'hui, il fallait s'adresser à un vase rigide, qui ne pourrait être vidé d'air que par une machine pneumatique. Celle-ci ne sera inventée par Otto de Guericke qu'en 1650, tandis que l'expérience de Torricelli qu'il s'agissait d'expliquer est de 1644. L'existence de la pression atmosphérique fut donc découverte avant la pesanteur de l'air. Tel est le cadre qui s'imposait aux spéculations théoriques des contemporains de Torricelli, élève de Galilée. On sait que l'illustre savant italien n'avait pu expliquer d'une manière satisfaisante cette constatation, faite par un jardinier florentin, que l'eau ne pouvait s'élever dans une pompe à plus de 10 mètres. L'horreur de la nature pour le vide, qu'on invoquait dans ce genre d'explications, se montrait ici insuffisante, puisque cette horreur paraissait avoir une limite. Pressentant nettement que l'ascension de l'eau dans les pompes était due à la pression atmosphérique, Torricelli eut l'idée de remplacer l'eau par un liquide plus dense pour diminuer la hauteur de la colonne liquide qui pouvait équilibrer cette pression. C'est ainsi qu'en retournant sur une cuve remplie de mercure un tube de verre de 4 pieds, soit environ 130 cm, préalablement rempli de mercure, le liquide descendit en partie dans la cuve, laissant au sommet du tube un espace vide tandis que le niveau du mercure dans le tube se fixait à environ 75 cm au-dessus de la surface libre dans la cuve. Cette expérience remarquable « du vif-argent », comme on la nommait alors, fut connue en France par l'intermédiaire du P. Mersenne, de l'ordre des Minimes, ancien condisciple de Descartes au collège de La Flèche, grand propa-

gandiste, par sa correspondance, des idées nouvelles et des événements importants, dans l'ordre scientifique. Le P. Mersenne, sans avoir donné son nom à aucune grande découverte, a joué par son zèle scientifique, sa curiosité étendue et son impartialité, un rôle de premier plan dans le mouvement scientifique de cette époque. Lors d'un voyage qu'il fit à Florence en 1644, Mersenne assista à la répétition de l'expérience de Torricelli. Il en communiqua le résultat à ses nombreux correspondants, à Descartes, à Roberval et à son collaborateur Pierre Petit, qui remplissait les fonctions d'intendant des fortifications et qui était un ami de Pascal. Petit répéta l'expérience célèbre, en 1646, à Rouen, devant Pascal, dont le père occupait la charge d'intendant. Petit et Pascal reprirent ensemble l'expérience et Pascal la transforma d'une manière ingénieuse, avec deux tubes soudés, pour faire apparaître, comme il le dit, « le vide dans le vide ».

Pour expliquer qu'une colonne de mercure était maintenue au-dessus de la surface libre dans la cuve inférieure, Pascal ne rejeta pas tout de suite l'horreur du vide, en remarquant toutefois, à son tour que celle-ci était limitée. Il constata que des liquides de densités différentes étaient maintenues à des hauteurs différentes, et que, dans tous les cas, si le tube était suffisamment long, le vide apparaissait. Torricelli avait eu l'idée de récuser l'horreur du vide, ce qu'avait déjà fait Descartes dès 1631, tandis que Roberval, cherchant à recourir à des forces attractives que le verre exerçait sur le mercure, s'orientait vers un système d'explications analogue à celui qu'on emploie aujourd'hui dans l'étude des phénomènes capillaires, pour rendre compte de l'ascension dans des tubes étroits de certains liquides qui mouillent la paroi, ou, au contraire, de la dépression qu'on constate, dans les mêmes tubes, par rapport au niveau de la cuve, quand on emploie le mercure qui ne mouille pas les parois.

Pascal se rallia très vite à l'explication par la pression atmosphérique. Dans l'effervescence générale à laquelle avait donné lieu l'expérience de Torricelli, il est difficile de savoir qui eut la première idée de la grande expérience qui devait se dérouler au Puy de Dôme, en 1648. Mersenne, comme Descartes, y ont pensé ; mais, comme l'observe Charles Fabry, dans la belle histoire de la physique qu'il a écrite pour l'*Histoire de la Nation Française*, de Gabriel Hanotaux, « la question de priorité paraît... fort oiseuse ; il est plus intéressant de constater l'extrême activité du groupe

français de philosophes et de savants, dont Mersenne était l'informateur et Descartes la plus haute intelligence et où, parfois, en dépit d'eux-mêmes, tous collaboraient au progrès de la Science ».

C'est à Pascal que revient l'honneur de cette expérience, parce que c'est lui qui l'a conçue avec une grande clarté et dans tous ses détails d'exécution. S'il faut chercher dans la pression de l'atmosphère la cause de l'ascension du mercure dans le tube de Torricelli,

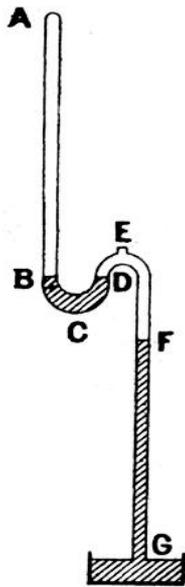


Fig. 1

la répétition de cette expérience à des altitudes différentes doit montrer une variation de la hauteur de la colonne de mercure, celle-ci diminuant avec l'altitude, car la pression de l'air est évidemment plus faible au sommet d'une montagne que dans la plaine environnante. Le succès d'une pareille tentative devait, dans l'esprit de Pascal, ruiner d'une manière définitive le système d'explication par l'horreur du vide, en montrant que la hauteur de la colonne de mercure dépendait uniquement de la pression de l'air, puisqu'elle suivait toutes les fluctuations prévisibles de celle-ci. Le projet que fit Pascal de l'expérience à laquelle son nom est attaché nous est connu par sa lettre du 15 novembre 1647 qu'il écrivit à son beau-frère Périer et dans laquelle il rappelle d'abord son expérience « du vide dans le vide » à laquelle nous faisons allusion tout à l'heure. Voici

en quoi consiste cette expérience : un tube de la forme indiquée par la figure 1, dont les portions AC et EG mesurent un peu plus de 76 cm, porte dans la partie recourbée en S une ouverture E qu'on peut obstruer hermétiquement. Cette ouverture étant fermée, on remplit le tube entièrement de mercure et on le retourne sur une cuve de mercure, après avoir bouché l'orifice G. Quand le doigt est retiré, le mercure se dispose comme l'indique la figure ; les parties AB et DEF sont vides d'air. La hauteur FG mesure la pression atmosphérique. On débouche alors l'ouverture E ; l'air pénètre entre les deux parties du mercure contenu dans le tube ; le niveau B monte dans la partie supérieure et si la partie CE est assez large et contient suffisamment de mercure, elle constitue la cuve d'un baromètre dont le tube est AB. Le niveau F descend jusqu'en G. Cet ingénieux dispositif montre nettement la relation qui lie la pression atmosphérique et l'ascension du mercure, puisque celle-ci apparaît avec celle-là, ou disparaît

si la pression atmosphérique s'exerce à la fois sur la cuve et à l'intérieur du tube. Pascal voulait ajouter à cette preuve, en établissant, comme nous le dirions dans le langage moderne, que la hauteur barométrique est une fonction continue et croissante de la pression atmosphérique, ou décroissante de l'altitude. Si Périer fut chargé de réaliser l'expérience conçue par Pascal, c'est que sa collaboration offrait à son beau-frère toutes les garanties désirables et que la proximité immédiate du Puy de Dôme rendait aisé le transport des appareils nécessaires et permettait d'opérer au pied et au sommet de la montagne, à des altitudes variant de 500 toises, soit environ 1.000 mètres.

L'expérience fut faite le 19 septembre 1648. Nous en avons la relation complète dans la lettre que Périer écrivit trois jours après à Pascal. Périer s'entoura de collaborateurs avertis, ses collègues MM. La Ville et Bégou, de la Cour des Aides, M. de La Porte, docteur en médecine, le chanoine Mosnier, de la cathédrale de Clermont-Ferrand, et le R. P. Bannier, supérieur des Minimes. A 8 heures du matin, l'équipe de ces expérimentateurs se réunit dans le jardin du couvent des Minimes, qui s'étendait sur l'actuelle place de Jaude. L'expérience de Torricelli fut répétée à cet emplacement. Le vif-argent monta dans le tube jusqu'à 26 pouces, trois lignes et demie, soit 71,2 cm et l'un des religieux de la maison, le R. P. Chastin, fut chargé de surveiller cette hauteur au cours de la journée, pendant que Périer et ses assistants allaient gravir le Puy de Dôme, pour mesurer la hauteur qu'atteindrait le vif-argent à son sommet. Celle-ci se fixa à la valeur de 23 pouces, deux lignes, soit 62,7 cm, « ce qui nous ravit tous d'admiration et d'étonnement, dit Périer dans sa lettre, et nous surprit de telle sorte que, pour notre satisfaction propre, nous voulûmes la répéter ». Cinq fois de suite, en divers endroits du sommet de la montagne, l'expérience fut refaite, à couvert ou à découvert, dans le vent ou à l'abri de celui-ci, sous la pluie et dans le brouillard. Malgré ces conditions variables, la hauteur du vif-argent se maintenait à la même valeur. Sur le chemin de la descente, à mi-hauteur, l'expérience fut encore répétée en un lieu appelé Lafon-de-l'Arbre et le niveau du mercure se fixa à une hauteur de 25 pouces, intermédiaire entre les valeurs constatées au pied et au sommet de la montagne, « ce qui, dit Périer, n'augmenta pas peu notre satisfaction, voyant la hauteur du vif-argent se diminuer devant la hauteur des lieux ».

Enfin, revenus aux Minimes, Périer et ses collaborateurs, répétèrent une fois de plus l'expérience, avec les appareils qu'ils avaient emportés dans leur ascension et la hauteur qu'ils constatèrent fut identique à celle qu'ils avaient déterminée le matin même, au même endroit et qui, aux dires du P. Chastin, n'avait pas varié dans la journée.

Le lendemain, à la demande du R. P. de La Mare, prêtre de l'Oratoire, Périer refit l'expérience dans une maison particulière située au sommet de la ville, à 6 ou 7 toises au-dessus des Minimes, et au niveau du pied de la plus haute tour de Notre-Dame de Clermont, et il trouva que la hauteur du vif-argent diminuait, à partir de ce dernier lieu, d'environ une demi-ligne. Au sommet de la même tour, à 26 ou 27 toises au-dessus des Minimes, la hauteur du vif-argent baissait encore d'environ deux lignes par rapport à la valeur qu'elle avait au pied de la tour.

Il ne restait à Périer qu'à récapituler les résultats de toutes ces mesures, ce qu'il fit avec méthode, sans oublier d'indiquer que les hauteurs du mercure avaient été déterminées avec beaucoup plus de précision que les altitudes. A la fin de sa lettre, il suggéra de refaire ces expériences sur la montagne, à des altitudes variant de 100 en 100 toises, avec l'espoir que la continuation de ces expériences pourrait conduire « à la parfaite connaissance de la juste grandeur du diamètre de toute la sphère de l'air ».

Les expériences faites au Puy de Dôme montrèrent à Pascal qu'une élévation de 20 toises entraînant une diminution de deux lignes de la hauteur du vif-argent, il lui était facile d'éprouver cette variation à Paris même, en opérant en haut et au bas de la tour Saint-Jacques-de-la-Boucherie, haute de 24 à 25 toises, soit environ 50 mètres ; ce qu'il fit pour trouver une variation d'un peu plus de deux lignes, soit un demi-centimètre.

Dans le récit que fit Pascal de toutes ces expériences en publiant sa lettre à Périer et la relation de celui-ci, il tira de ces recherches les conséquences qui s'imposaient, à savoir que la hauteur du mercure dans le tube de Torricelli permettait de constater que deux points, même très éloignés l'un de l'autre à la surface de la Terre, étaient au même niveau, ce qui serait impossible par aucun autre moyen.

Il n'était pas donné aux contemporains de Pascal d'aller plus loin dans cette voie. La proportionnalité entre la variation de la pression atmosphérique et la variation correspondante de l'altitude

ne peut se vérifier quand cette dernière variation est notable, car la densité de l'air n'est pas constante, les couches supérieures pressant sur les couches inférieures. Il fallait, pour déterminer avec exactitude la loi de décroissance de la pression atmosphérique avec l'altitude, loi dite du nivellement barométrique, connaître celle de la compressibilité de l'air. Il appartenait à Mariotte d'établir cette dernière loi en 1676, ce qui lui permit de reprendre la question laissée en suspens après l'expérience du Puy de Dôme. Mais la formule qu'il donna pour l'expression du nivellement barométrique est peu rigoureuse. C'est Huyghens qui devait résoudre ce problème, en utilisant les méthodes du calcul intégral, découvertes par ses contemporains Newton et Leibnitz.

L'expérience de Pascal allait permettre, au surplus, une estimation du poids de l'air, qui n'avait pas encore été possible, nous l'avons vu, par un autre moyen. Si Mersenne et Descartes admettaient après Jean Rey la pesanteur de l'air, les pesées directes donnaient des résultats très imparfaits, puisque Descartes pensait que l'air était cent quarante cinq fois moins dense que l'eau, alors qu'il l'est huit cents fois. L'expérience du Puy de Dôme, en montrant que la hauteur du mercure diminuait d'une ligne quand on s'élevait de 13 toises, longueurs qui sont dans le rapport de 1 à 11.000, devait montrer que l'air était onze mille fois moins dense que le mercure ou huit cents fois moins que l'eau. Cette évaluation était exacte et elle devait être confirmée, un siècle plus tard, par des expériences directes, quand les machines pneumatiques permirent de réaliser le vide poussé.

Le baromètre était inventé. Pascal comprit tout de suite le parti qu'on en pouvait tirer, les variations de la hauteur du mercure devant être liées aux conditions météorologiques, et, sur ses indications, son beau-frère Périer, à Clermont, et l'ambassadeur de France Chanut, à Stockholm, se livrèrent à des observations de cet ordre.

Pascal montra en outre que la pesanteur de l'air, si nettement mise en évidence dans les expériences du Puy de Dôme, permettait d'expliquer le fonctionnement des pompes et du siphon.

Mais l'un des plus grands mérites de Pascal fut de relier la variation de la pression de l'air avec l'altitude à celle qu'on observe au sein d'un liquide, quand on fait varier la profondeur, et il établit ainsi l'analogie totale des phénomènes produits par la pression dans les liquides et par la pression de l'air. Pascal montra

notamment par l'expérience que l'ascension de la colonne de mercure dans le tube vide d'air de Torricelli, sous l'effet de la pression de l'air, est en tous points comparable à l'ascension du même mercure dans un tube vide d'eau, sous l'effet de la pression de l'eau. Un petit sac plein de mercure (fig. 2), fixé à l'extrémité

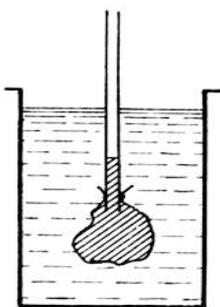


Fig. 2

inférieure d'un tube de verre qu'on immerge dans l'eau, en prenant garde de ne pas immerger l'extrémité supérieure, se comprime sous l'effet de la pression de l'eau et le mercure s'élève d'autant plus haut dans le tube que le sac est enfoncé davantage dans l'eau. Cette expérience put suggérer naturellement à Pascal que la colonne de mercure dans le tube de Torricelli devait diminuer de hauteur quand on s'élevait sur une montagne ; c'est là sans doute qu'il faut chercher l'origine des réflexions qui le conduisirent à fixer le programme des expériences du Puy de Dôme.

Pascal souligna l'analogie des effets de la pression de l'eau et de la pression de l'air en faisant fonctionner au sein d'un vase plein d'eau un petit siphon rempli de mercure (fig. 3). Le siphon était amorcé préalablement en aspirant dans la branche B dont l'extrémité supérieure ouverte est maintenue au-dessus de la surface de l'eau.

Toutes ces expériences, en établissant le lien étroit qui unissait la statique des liquides et celle des gaz, devaient contribuer à réunir dans une même doctrine des faits qui, en apparence, étaient étrangers les uns aux autres.

Enfin, Pascal devait rattacher la statique des liquides, partant celle des fluides, à la statique des solides, par l'idée qu'il eut de la presse hydraulique, appareil qui ne put être construit qu'à la fin du xviii<sup>e</sup> siècle et qui est une conséquence du célèbre principe, dit de Pascal, de l'égalité transmission des pressions en tous les points d'un liquide. « Si un vaisseau plein d'eau, clos de toutes parts, écrit-il, a deux ouvertures, l'une centuple de l'autre ; en mettant à chacune un piston qui lui soit juste, un homme poussant le petit piston, égalera la force de cent hommes qui pousseront celui qui est cent fois plus large et en surmontera

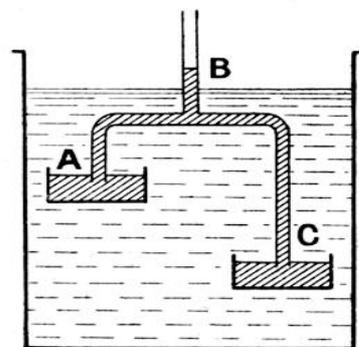


Fig. 3

quatre-vingt-dix-neuf. » Et il tire cette conséquence : « D'où il paraît qu'un vaisseau plein d'eau est un nouveau principe de mécanique, et une machine nouvelle pour multiplier les forces à tel degré qu'on voudra, puisqu'un homme, par ce moyen, pourra élever tel fardeau qu'on lui proposera. » - - On voit l'analogie qu'il y a, au point de vue mécanique, entre le levier et la presse hydraulique. Aussi peut-on dire que la grande expérience du Puy de Dôme et les travaux qui lui sont liés, ont contribué à ce grand travail d'unification de la Statique, qui a servi de modèle dans le développement ultérieur de la Mécanique et de toute la physique théorique.

Cette expérience allait inaugurer toute une série de recherches fécondes sur l'élasticité de l'air et les problèmes pratiques que posent sa compression et sa raréfaction. L'existence du vide, mise nettement en évidence par l'expérience de Torricelli et justifiée par Pascal, ouvrait une ère nouvelle à la physique expérimentale et ce sont les perfectionnements successifs apportés à la technique du vide qui ont permis les recherches contemporaines sur la décharge dans les gaz raréfiés et la découverte des rayons cathodiques, des rayons positifs et des rayons X.

La célèbre expérience sur l'équilibre des liqueurs méritait donc d'être rappelée au grand public français par les manifestations officielles qui se sont déroulées à Clermont-Ferrand et à Paris le mois dernier, avec un léger retard qu'il faut imputer aux vacances. Cette expérience reste comme un modèle, dans la physique expérimentale naissante de ce début du grand siècle. On admirera les précautions qui furent prises pour éliminer, dans le phénomène soumis à l'expérience, toutes les causes accidentelles, étrangères à celles qu'on voulait étudier, et à laquelle Pascal attribuait les variations qu'il prévoyait dans la hauteur de la colonne barométrique. Mais ce qui doit être souligné par-dessus tout, c'est le caractère génial, par sa simplicité, de la prévision que fit Pascal de la relation qui devait être vérifiée entre la hauteur de mercure et l'altitude. Certes, le développement fulgurant de la physique contemporaine nous a appris à admirer le rôle joué par l'esprit du savant dans la prévision des faits. La Science ne se développe pas toujours — on pourrait presque dire : pas souvent — par l'enregistrement méthodique des résultats d'une expérience et l'interprétation ultérieure de ses résultats. L'expérience est déjà une question posée à la nature, partant, une anticipation sur les causes possibles d'un phénomène donné, sinon sur la nature de la relation mathématique

qui lie l'effet à la cause, tous deux mesurables. Le plus bel instrument dont dispose le savant, à toute époque et dans tous les domaines, c'est sa faculté de raisonner, d'inventorier les facteurs d'un phénomène, d'établir les conditions expérimentales qui permettront d'étudier l'influence de chacun d'eux, voire de prévoir, comme l'a fait Pascal, le sens des variations de la fonction qui lie les grandeurs définissant la cause et l'effet, et même parfois la nature même de cette fonction. Si Pascal, pour des raisons que nous avons rappelées, a dû confier à son beau-frère Périer l'exécution de l'expérience qu'il avait conçue, c'est bien à lui que revient l'honneur de son succès et de la découverte à laquelle elle a conduit. Par cet aspect, l'expérience du Puy de Dôme, en plus des résultats qu'elle a apportés et des perspectives qu'elle a ouvertes, a, dans l'histoire de la Science, une valeur symbolique. Elle est toute à la gloire de la pensée humaine.

\* \* \*

L'horreur du vide était définitivement ruinée comme système d'explication. Pascal fait éloquemment, à cette occasion, le procès de ces « causes chimériques, qui n'apportent qu'un vain soulagement à l'avidité qu'ont les hommes de connaître les vérités cachées, et qui, loin de les découvrir, ne servent qu'à couvrir l'ignorance de ceux qui les inventent et à nourrir celles de leurs sectateurs ». Et il avoue, avec beaucoup de franchise, que s'il a abandonné une opinion ancienne, il ne l'a fait que progressivement et sous la contrainte des faits, passant de la croyance que la nature avait une horreur invincible du vide à celle que cette horreur n'était pas invincible et, enfin, à celle que la nature n'a aucune horreur pour le vide.

Mais Pascal n'a-t-il pas triomphé trop vite et trop complètement des partisans de l'horreur du vide ? Son expérience, qu'on a qualifiée souvent de « cruciale », en faisant disparaître définitivement un système d'explication, a peut-être interrompu un courant d'idées qui, pour être demeuré longtemps à l'état embryonnaire, était susceptible de développements féconds que la physique du XIX<sup>e</sup> siècle devait faire apercevoir. Les contemporains de Louis de Broglie savent ce qu'il faut penser des expériences dites cruciales. Quand Foucault faisait part à l'Académie des Sciences, le 6 mai 1850, du résultat de ses expériences sur la comparaison des vitesses de la lumière dans l'eau et dans le vide, la première

étant les  $3/4$  de la seconde, il pensait, selon Arago, ruiner définitivement la théorie de l'émission. Nous savons aujourd'hui qu'on ne peut décrire tous les phénomènes lumineux sans faire appel, soit à l'une, soit à l'autre des théories de l'émission et des ondulations, et la physique contemporaine parvient, si l'on peut dire, à concilier ces aspects, en apparence contradictoires, de la même réalité physique, en nous les montrant comme des « états complémentaires », dont l'un se précise d'autant mieux que l'autre s'efface plus, de telle sorte que, ne nous apparaissant jamais simultanément avec la même netteté, ils ne sauraient se contredire complètement. Cette vue qui sera, sans doute, l'un des apports les plus importants de la philosophie scientifique, donnera à la pensée moderne un de ses traits les plus originaux.

Sans même arriver jusqu'à l'époque contemporaine, qu'on nous permette de rappeler la fine analyse que fit Duhem, dans sa *Théorie physique*, des affirmations d'Arago. Le fait que les mesures de Foucault, confirmées peu de temps après par Fizeau et Bréguet, étaient en contradiction avec l'une des conséquences qu'on pouvait tirer de la théorie de l'émission montrait seulement que celle-ci devait être modifiée dans l'un de ses aspects ou de ses développements, sans que ce soit nécessairement dans son hypothèse fondamentale. On ne jette pas par terre une doctrine parce qu'elle bute un jour sur un fait ; on cherche à la transformer ; parfois, on fait une théorie nouvelle pour expliquer le désaccord de la première avec l'expérience. Il va de soi, au surplus, que ce qu'une théorie a expliqué, elle continuera toujours à l'expliquer ; c'est à cause de cela que les théories anciennes nous apparaissent souvent comme un aspect particulier, valable dans certaines conditions, ou avec une certaine approximation, des théories actuelles.

Ce n'est pas à proprement parler une réhabilitation de l'horreur du vide que nous voudrions tenter ici. Notre but est seulement de montrer le parti qu'on aurait pu tirer de cette idée pour l'étude de certains faits qui appartiennent à la statique des gaz. Pascal nous dit dans sa lettre à Périer qu'il a « peine à croire que la nature, qui n'est point animée, ni sensible, soit susceptible d'horreur, puisque les passions présupposent une âme capable de la ressentir ». Et cependant la physique s'est accommodée longtemps et s'accommode encore d'hypothèses ou au moins d'un langage qui est tout aussi anthropomorphique. Quand nous disons que le chlore a de l'*affinité* pour l'hydrogène, nous acceptons le mot et l'idée, pour en faire

le support d'une notion quantitative, c'est-à-dire, d'une grandeur dont la physico-chimie a fourni une mesure élastique, par le travail maximum fourni, en milieu homogène gazeux, dans la réaction réversible entre les corps considérés dont on veut évaluer l'affinité mutuelle ; une mesure électrique, par la force électromotrice d'une pile réversible fonctionnant grâce à la réaction considérée ; enfin, une mesure thermique, entrevue par Berthelot (chaleur de la réaction envisagée) et qu'une hypothèse due à Nernst a permis de mieux préciser.

La pensée théorique ne pouvait-elle exploiter l'horreur du vide comme elle a tiré parti de l'idée d'affinité ? Cette « horreur » est, en quelque sorte, une affinité négative, moins suggestive sans doute que si elle était positive, car sous la notion d'affinité, il y a peut-être l'idée d'attraction, dont le caractère mécanique est plus ou moins avoué. Et la réduction de l'affinité à des actions de nature mécanique, attractions ou répulsions, coulombiennes ou non, n'est qu'un aspect de l'effort de réduction de toute la physique théorique aux explications mécaniques qui, pour être plus facilement acceptées par l'esprit, parce que plus proches de notre expérience courante, n'en sont pas moins obscures. Qu'on se reporte à la théorie de la gravitation d'Einstein et à l'explication qu'elle nous fournit de l'action de la Terre sur les corps pesants !

L'horreur du vide n'était donc, en quelque sorte, qu'une aptitude particulière de la nature à évoluer spontanément vers des configurations moins vides. Certes, aux fontainiers de Florence comme à Torricelli, ce goût que la nature manifeste pour la plénitude pouvait apparaître limité, car le mercure ne remplissait pas le tube barométrique, si la longueur de celui-ci, dans sa partie émergée, dépassait 76 cm. Mais ce n'est pas l'horreur du vide qui ici est limitée, mais plutôt les moyens mis en œuvre par l'expérimentateur pour satisfaire aux tendances naturelles. Qu'on introduise par la partie inférieure du tube, avec une pipette recourbée, un peu d'éther, dans la chambre barométrique, il se vaporise instantanément et remplit le vide de ses vapeurs. L'expérience, pour être moins visible, l'est encore avec de l'alcool, avec de l'eau, et même avec... du mercure, car le mercure lui-même du baromètre, à la température où l'on opère, a une faible tension de vapeur, qui est à 20° de 0,00013 cm, suivant les mesures que fit Hertz en 1882. Cette pression de vapeur croît du reste très vite avec la température ; elle est, à 100°, de 0,028 cm et, à 260°, de 9,8 cm

On voit que la nature tire parti de toutes les ressources que lui offre l'expérimentation pour satisfaire à cette horreur du vide, et la limitation que l'on constate dans cette tendance, quand on remplace l'éther par l'eau et l'eau par le mercure, ne tient qu'à la différence des propriétés que présentent ces divers corps, dans les mêmes conditions expérimentales.

Pour préciser cette tendance naturelle qu'exprime l'horreur du vide, il faudrait, pour parler le langage moderne de l'énergétique, isoler un système dont l'une des parties, si l'on peut dire, serait constituée par un vide qui pourrait être comblé par la modification d'une autre partie du système. Supposons, par exemple, un récipient cylindrique divisé en deux parties A et B par un piston P qu'on peut immobiliser de l'intérieur (fig. 4). A est rempli d'un gaz ; B est vide. Si l'on abandonne le piston P, il est repoussé par le gaz A,

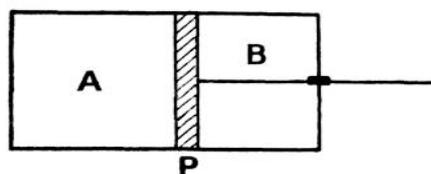


Fig. 4

de manière à faire disparaître progressivement l'espace B. Nous supposons que la pression du gaz en A demeure toujours assez grande pour vaincre les frottements qui peuvent s'opposer au mouvement. L'accroissement de volume du gaz A est un phénomène naturel, spontané, c'est-à-dire qu'il s'effectue quand on abandonne à lui-même le système en expérience. C'est aussi un phénomène irréversible, car le piston ne revient pas de lui-même en sens inverse pour recréer derrière lui le vide initial. Dans l'expérience de Torricelli, quand on retire le pouce qui ferme le tube préalablement rempli de mercure et retourné sur la cuve, le vide apparaît bien spontanément dans le haut du tube, parce qu'on avait réalisé un système qui ne pouvait être maintenu dans un état stable que par la réaction que le pouce opposait à la différence des pressions qu'il subissait de la part du mercure dans le tube et du mercure dans la cuve. De même, un arc peut rester bandé par l'action qu'exerce la main ; mais dès que cette action disparaît, le système se trouve dans un état instable et il évolue vers un état d'énergie minimum. Pour en revenir au système que nous avons imaginé, la variation du volume A définit la grandeur ou l'intensité du phénomène dont la cause initiale doit être recherchée, d'une manière plus générale, dans la différence des pressions qui règnent en A et en B. Pour parler le langage qu'a employé Rankine en 1855, dans son énergétique, le volume  $v$  est l'accident passif, tandis que

la pression, ou, plus généralement, la différence de pression entre A et B, est l'accident actif. Nous disons aujourd'hui, après Gibbs, que la pression  $p$  est une variable de tension et le volume  $v$ , une variable de position. Une grande valeur de la variable  $p$  définit une forte tendance du système à une transformation caractérisée par une variation de la variable  $v$ .

Il s'agit ici de transformations élastiques et la *tendance* du système à satisfaire à son horreur du vide ou à son goût du plein est définie quantitativement par le travail maximum qu'il est susceptible d'accomplir au cours d'une transformation réversible. Ce travail qui, dans les phénomènes purement mécaniques, correspond à une variation de son énergie interne  $U$ , s'exprimera, dans une transformation élémentaire par la relation :

$$dU = p dv$$

S'il s'agit maintenant de transformations thermiques, comme celle qui s'opère quand on abandonne un corps porté à la température absolue  $T$  dans une enceinte à la température du zéro absolu ou à une température plus basse que le corps, l'accident actif, ou la variable de tension, cause qui provoque le phénomène constaté, est ici la température du corps, ou, d'une manière plus générale, la différence des températures du corps et du milieu qui l'environne, tandis que l'accident passif, ou la variable de position, est la quantité dont la variation élémentaire est égale au quotient de la quantité de chaleur  $dQ$ , équivalente à la variation d'énergie interne du corps, par la température absolue, comme la variation de volume  $dv$  était le quotient de la variation d'énergie interne  $dU$  par la pression  $p$ .

Ce quotient  $\frac{dQ}{T}$  est ce que les physiciens désignent par la variation de l'entropie  $S$  du système

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad \text{et} \quad dQ = T dS$$

Il y a un parallélisme très net entre les deux relations :

$$\begin{array}{l} dU = p dv \\ \text{et} \quad dQ = T dS \end{array}$$

Pour les phénomènes qui relèvent à la fois des deux ordres de faits et qu'on désigne sous le nom de phénomènes *thermo-élastiques*, la variation d'énergie interne est la somme des variations qui cor-

respondent à chaque ordre de faits. Elle peut s'écrire, avec des conventions de signes qu'il est facile de préciser, et en admettant que l'unité de travail correspond à l'unité de quantité de chaleur,

$$dU = T dS - p dv \quad (1)$$

Les quatre variables  $p$ ,  $v$ ,  $T$ ,  $S$  se correspondent deux à deux. L'horreur du vide qui apparaît dans les phénomènes élastiques est le pendant de l'horreur du froid que revêtent les transformations thermiques spontanées. Les unes et les autres sont des aspects divers de la même tendance qu'a la nature à faire disparaître, non seulement le vide, mais le froid, toute différence de pression ou de température ; plus généralement, toute différence dans l'une des variables de tension, car la théorie de Rankine a été étendue par Gibbs aux phénomènes chimiques. Remarquons qu'un système ne peut supprimer le vide de l'une de ses parties que par un phénomène d'expansion de la matière qui le forme et cette expansion tend ainsi autant à combler partiellement le vide qu'à créer une raréfaction de la matière, là où elle était initialement placée, c'est-à-dire à créer un vide relatif. De même un corps chaud ne fait disparaître le froid qui l'environne qu'en se refroidissant lui-même. Horreur du vide et horreur du froid ne définissent que le sens initial de l'évolution d'un phénomène et non son terme. Ce terme, lui, est défini par l'égalité, en tous les points du système, de la variable de tension  $p$  ou  $t$ . Cette tendance naturelle, qui conduit un système vers un état où les variables de tension s'égalisent, c'est-à-dire où toutes les différenciations qu'elles représentent s'effacent, est celle que traduit le second principe de la thermodynamique et auquel M. Lalande a justement demandé qu'on donne le nom de principe d'*involution*, calque latin du mot *entropie*, pour le distinguer de l'évolution, ou tendance des systèmes organisés à se différencier de plus en plus. Ainsi, la tendance naturelle qui définit l'horreur du vide ne serait qu'un aspect du principe de Carnot. L'horreur du vide, proclamée par les anciens physiciens, n'était que l'affirmation, un peu rudimentaire et trop entachée de métaphysique, de cette tendance qu'a un fluide, abandonné à lui-même, à acquérir le plus grand volume possible, de même que dans les transformations purement thermiques, un sys-

(1)  $dQ = T dS$  est la quantité de chaleur *absorbée* par le système et  $dT$  le travail qu'il a *effectué*.

tème isolé se transforme dans le sens qui entraîne un accroissement de son entropie. Quand Clausius, parlant de l'Univers comme d'un système isolé, — isolé de quoi ? — proclamait au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle que l'entropie de l'Univers tendait vers un maximum, il ne faisait qu'exprimer en langage moderne, et dans un ordre de faits, ce que les physiciens contemporains de Galilée, dans un autre ordre de faits, exprimaient par l'horreur du vide, et que nous pourrions traduire, sans changer le sens des mots, en disant que le volume de l'Univers tend vers un maximum.

Certes, il peut paraître facile, après coup, de relier certains aspects de la Science moderne à telle idée rudimentaire, apparue au cours de l'histoire. Nous ne pensons pas, cependant, avoir sollicité les faits, en montrant le parti que la physique aurait pu tirer d'une notion que l'expérience célèbre, qui est à l'origine de nos réflexions, a trop aisément balayée. On ne peut interdire à l'histoire des Sciences d'imaginer le cours qu'aurait pu prendre le développement de la physique, si telle ou telle voie théorique n'avait été brusquement fermée. Ce n'est pas là un travail de dilettante. L'histoire des Sciences, sous cette forme critique, peut servir la recherche, en offrant à l'esprit du savant des exemples de ces cheminements théoriques qui sont souvent à l'origine des grandes découvertes. C'est, au surplus, en révélant les excès mêmes du triomphe de Pascal qu'on peut encore montrer la grandeur de son génie.

Ch. BRUNOLD.