

### Boyle et sa loi \*

par Timothy Davy



Robert Boyle, physicien et chimiste anglo-irlandais (1627-1691).  
(Photo H. Roger-Viollet.)

*Les travaux du physicien anglais Robert Boyle ayant été évoqués dans un article récent de notre revue (Octobre 1975, page 3), il nous a paru intéressant de publier une étude consacrée aux découvertes de l'un des pionniers des sciences physico-chimiques.*

Les ouvrages de référence décrivent Robert Boyle comme un chimiste. En réalité, c'était un physicien, mais le terme n'existait pas au dix-septième siècle. En exagérant seulement un petit peu, on pourrait l'appeler le fondateur de la physique expérimentale.

\* De *Spectrum* 130.

A l'encontre de cette déclaration, les noms de Galilée, Torricelli, Pascal, Mersenne, Descartes et d'autres nous viennent à l'esprit. Aucun d'eux ne manifesta le même respect pour la précision ni le même soin que Boyle. Certaines de leur soi-disant expériences étaient des inventions et étaient irréalisables. Pascal, par exemple, envisagea un homme assis confortablement à quelque six mètres sous l'eau, avec l'extrémité d'un tube reposant sur sa cuisse! Considérons la mesure du poids de l'air. Dire que l'air était pesant constituait encore une hérésie au dix-septième siècle, car c'était aller à l'encontre de la philosophie d'Aristote. Galilée prouva que l'air était pesant, mais la valeur qu'il trouva n'était pas importante du moment qu'elle prouvait son point de vue. Pour Boyle, cependant, il était impératif d'obtenir une valeur précise pour ce qu'il appelait le poids spécifique, un terme qu'il inventa. Le tableau suivant donne les valeurs obtenues par quatre expérimentateurs pour l'air à la température et à la pression normales.

#### Poids spécifique de l'air

Date approximative	Expérimentateur	Résultat	Valeur d'aujourd'hui
1600	Galilée	0,0025	↓
1642	Descartes	0,0067	
1642	Mersenne	0,0007	
1659	Boyle	0,0011	0,0013

Que Boyle ait pu parvenir à 16% près de la valeur d'aujourd'hui avec les appareils alors disponibles est un tribut à sa « circonspection », comme il le disait.

Nous connaissons cet homme aujourd'hui seulement par son nom de famille. Il était en fait l'Honorable Robert Boyle, septième fils du célèbre Comte de Cork. Dans le Londres de la Guerre Civile, il rencontra des hommes passionnés pour la science, qui devinrent plus tard le noyau de la Société royale. Il vécut à Oxford de 1654 à 1668, y organisa un laboratoire et employa un certain nombre d'assistants, dont l'un Robert Hooke, fut le génie de l'expérimentation. Certains historiens des sciences ont essayé d'attacher beaucoup d'importance à ce fait, disant que Boyle s'attribua le mérite des travaux effectués en fait par Hooke. Cela n'est pas vrai.

Hooke était un homme pauvre, qui était entré à Oxford comme « serviteur » et il lui fallut être payé comme assistant jusqu'à ce que son génie fût reconnu; bien qu'il fût, c'était notoire, un homme difficile, Boyle et lui demeurèrent amis toute leur vie. Il n'est donc pas nécessaire de s'associer à ce qui semble être une conspiration pour amenuiser la grandeur de Boyle ou attribuer à Hooke ce qu'il n'a pas fait. Incidemment, le roi Charles II offrit d'élever Boyle à la Pairie, mais celui-ci refusa. Il refusa aussi la présidence de la Société royale.

La nouvelle de la célèbre démonstration de von Guericke avec les hémisphères de Magdebourg parvint à Boyle en 1657. Il fut passionné par le concept d'un vide et comprit qu'il pouvait réaliser de nombreuses expériences liées à l'hypothèse selon laquelle l'air était pesant et consistait en particules infiniment petites si seulement il pouvait trouver une pompe à effet de vide utilisable avec une chambre expérimentale. La pompe de von Guericke exigeait deux hommes travaillant continuellement pendant plusieurs heures pour faire le vide dans la sphère. Elle n'était pas appropriée pour le laboratoire. Boyle demanda donc à ses assistants Gregg et Hooke de concevoir une pompe et un réservoir appropriés. Hooke produisit la pompe illustrée sur la figure 1, la première pompe à vide de

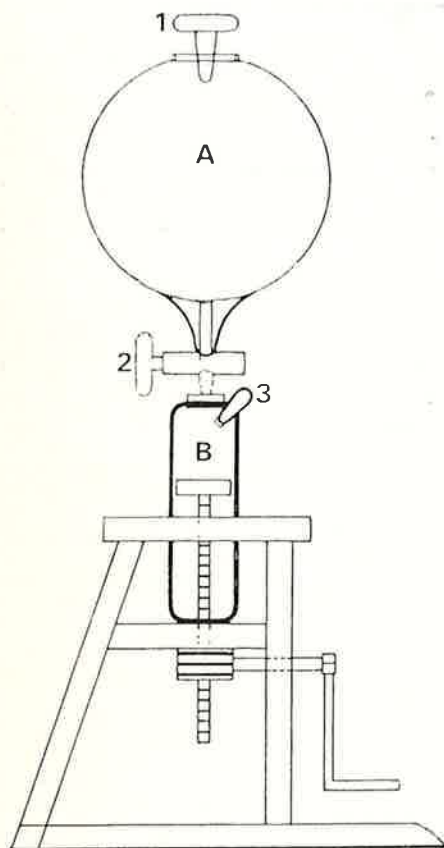


Figure 1.

La pompe à vide de Hooke, fabriquée environ en 1659. Son fonctionnement est décrit dans le texte.

laboratoire de l'histoire, qui devint si célèbre que les savants vinrent de partout à Oxford pour la voir et qu'une démonstration en fut faite à Charles II. La chambre expérimentale A avait environ

38 cm de diamètre. Les ouvertures sont représentées en 1, 2 et 3. Parmi celles-ci, 2 était fermée par un robinet d'arrêt et 3 par un bouchon en laiton. Il était extrêmement difficile de trouver des mastics étanches : un plâtre contenait de l'eau, de la chaux et du fromage râpé, le tout ayant « une odeur forte et désagréable ». L'opérateur de la pompe devait être plus ou moins un athlète. La méthode consistait à fermer 2, sortir 3, amener le piston à la manivelle en haut de B, enfoncer 3, ouvrir 2, abaisser le piston à la manivelle, et ainsi de suite.

Avec et sans cette pompe, Boyle fit 43 expériences, dont les résultats furent publiés en 1660 sous le titre « Expériences physico-mécaniques nouvelles intéressant l'élasticité de l'air et ses effets ». Avec cet ouvrage, Boyle devint célèbre. Dans les expériences, il donna la preuve convaincante que l'air était pesant et que la pression atmosphérique expliquait les phénomènes attribués par les Aristotéliens à « l'horreur du vide » de la nature. Il expliqua que « l'aspiration » était en fait une question de différence de pression d'air. Il montra que la lumière et le magnétisme pénétraient un vide, mais que le son ne le pénétrait pas. Il inventa le mot « baromètre » et mesura la pression atmosphérique, la calculant à environ  $1,12 \text{ kg/cm}^2$ , soit une valeur différente de quelque 7,5 % de la valeur d'aujourd'hui à la température et à la pression normales. Il calcula que l'atmosphère était une couche gazeuse de quelque 11 kilomètres bien qu'il eût prévenu que cette valeur dépendait d'une hypothèse injustifiable selon laquelle l'air était uniforme, tandis que, comme il le dit, il pouvait être plus ou moins raréfié dans le sens ascendant à une grande altitude.

Ses résultats, publiés il y a 315 ans, ont un accent moderne. Il n'est certainement pas surprenant qu'ils aient provoqué une sensation. Il fut la vedette de la société, y compris des femmes, et il fut contraint de publier un avis indiquant quand « il serait absent ».

#### Hypothèse

En 1662, il publia une seconde édition, et, dans celle-ci, il décrit l'expérience qui a donné son nom à la science. Il croyait que les particules de l'air étaient comme des petits ressorts. Si bien que, plus elles étaient comprimées, plus elles poussaient l'une contre l'autre. Ainsi, alors que le volume était rendu plus petit par compression, la pression augmentait dans la même proportion. Il mit cette hypothèse à l'épreuve. Il se fit construire un long tube de verre coudé à une extrémité de sorte qu'il comportait une branche courte hermétiquement fermée et une branche longue ouverte (figure 2). La branche longue était si haute que l'expérience ne pouvait avoir lieu dans sa salle. Au lieu de cela, l'ensemble fut attaché à une échelle double. Selon la méthode adoptée, l'assistant en haut de l'échelle versait du mercure, petit à petit, tandis que Boyle mesurait la colonne libre de mercure au-dessus du niveau de la colonne fermée, puis la longueur de la colonne d'air enfermé.

Il mesura d'abord la pression atmosphérique et constata qu'elle était d'environ 74 cm (29,125 pouces) (évidemment un jour où le baromètre était bas). Selon son hypothèse, la hauteur totale de mercure libre (y compris la hauteur barométrique) multipliée par la longueur de l'air dans la branche

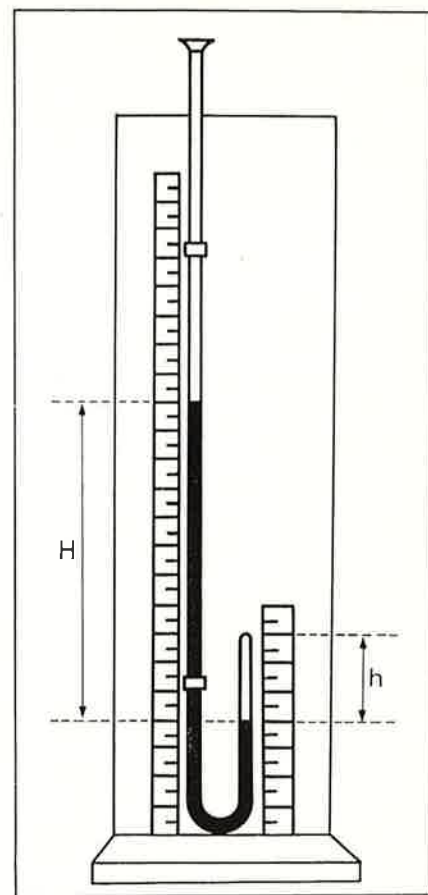


Figure 2.

Version de laboratoire moderne de l'appareil utilisé par Boyle dans son expérience. La hauteur  $H$  + la pression atmosphérique égalent la pression totale exercée sur l'air dans la branche fermée, d'un volume correspondant à  $h$ .

fermée aurait dû donner une valeur constante. A 29,125 pouces de pression, la longueur était de 36 pouces. Après multiplication, le résultat est de 1 048,5. Donc, à une longueur de branche fermée de, disons, 18 pouces, la pression totale devait être de 58,25. Il nota la pression mesurée à la valeur de 58,815. Il présenta ses résultats en deux colonnes finales, l'une (D) contenant la pression effective mesurée et l'autre (E) contenant ce que les résultats auraient dû être selon l'hypothèse. La page appropriée de ses résultats est reproduite ici. Il est facile de constater que les colonnes D et E sont plus ou moins identiques, ce qui confirme son hypothèse, laquelle, en termes modernes, peut être exprimée comme suit (pour des conditions de température constante) : pression  $\times$  volume = constante.

#### Erreur aléatoire

Un examen plus approfondi des colonnes D et E, cependant, montre qu'il y a des différences et l'on trouve un témoignage de la sagesse de Boyle dans le fait qu'il l'a reconnu et a indiqué que son hypothèse était bonne en tant que première approximation. (Une douzaine d'années plus tard, Mariotte, en France, publia les résultats d'une expérience similaire et en inféra la loi, la déclarant exacte, ce qu'elle n'était pas). Évidemment, ni lui, ni personne n'avait de connaissances des statistiques. L'existence de l'erreur aléatoire dans l'obser-

divisions in the shorter Tube, the several Observations that were thus successively made, and as they were made set down, afforded us the ensuing Table.

*A Table of the Condensation of the Air.*

A	A	B	C	D	E
48	12	00		29 $\frac{1}{6}$	29 $\frac{1}{6}$
46	11 $\frac{1}{2}$	01 $\frac{1}{6}$		30 $\frac{2}{6}$	30 $\frac{2}{6}$
44	11	02 $\frac{1}{6}$		31 $\frac{1}{6}$	31 $\frac{1}{6}$
42	10 $\frac{1}{2}$	04 $\frac{1}{6}$		33 $\frac{1}{6}$	33 $\frac{1}{6}$
40	10	06 $\frac{1}{6}$		35 $\frac{1}{6}$	35 $\frac{1}{6}$
38	9 $\frac{1}{2}$	07 $\frac{1}{6}$		37 $\frac{1}{6}$	36 $\frac{1}{6}$
36	9	10 $\frac{1}{6}$		39 $\frac{1}{6}$	38 $\frac{1}{6}$
34	8 $\frac{1}{2}$	12 $\frac{1}{6}$		41 $\frac{1}{6}$	41 $\frac{1}{6}$
32	8	15 $\frac{1}{6}$		44 $\frac{1}{6}$	43 $\frac{1}{6}$
30	7 $\frac{1}{2}$	17 $\frac{1}{6}$		47 $\frac{1}{6}$	46 $\frac{1}{6}$
28	7	21 $\frac{1}{6}$		50 $\frac{1}{6}$	50 $\frac{1}{6}$
26	6 $\frac{1}{2}$	25 $\frac{1}{6}$		54 $\frac{1}{6}$	53 $\frac{1}{6}$
24	6	29 $\frac{1}{6}$		58 $\frac{1}{6}$	58 $\frac{1}{6}$
23	5 $\frac{1}{2}$	32 $\frac{1}{6}$		61 $\frac{1}{6}$	60 $\frac{1}{6}$
22	5 $\frac{1}{2}$	34 $\frac{1}{6}$		64 $\frac{1}{6}$	63 $\frac{1}{6}$
21	5 $\frac{1}{2}$	37 $\frac{1}{6}$		67 $\frac{1}{6}$	66 $\frac{1}{6}$
20	5	41 $\frac{1}{6}$		70 $\frac{1}{6}$	70 $\frac{1}{6}$
19	4 $\frac{1}{2}$	45 $\frac{1}{6}$		74 $\frac{1}{6}$	73 $\frac{1}{6}$
18	4 $\frac{1}{2}$	48 $\frac{1}{6}$		77 $\frac{1}{6}$	77 $\frac{1}{6}$
17	4 $\frac{1}{2}$	53 $\frac{1}{6}$		82 $\frac{1}{6}$	82 $\frac{1}{6}$
16	4	58 $\frac{1}{6}$		87 $\frac{1}{6}$	87 $\frac{1}{6}$
15	3 $\frac{1}{2}$	63 $\frac{1}{6}$		93 $\frac{1}{6}$	93 $\frac{1}{6}$
14	3 $\frac{1}{2}$	71 $\frac{1}{6}$		100 $\frac{1}{6}$	99 $\frac{1}{6}$
13	3 $\frac{1}{2}$	78 $\frac{1}{6}$		107 $\frac{1}{6}$	107 $\frac{1}{6}$
12	3	88 $\frac{1}{6}$		117 $\frac{1}{6}$	116 $\frac{1}{6}$

Added to 29 $\frac{1}{6}$  makes

**AA.** The number of equal spaces in the shorter leg, that contained the same parcel of Air diversly extended.

**B.** The height of the Mercurial Cylinder in the longer leg, that compris'd the Air into those dimensions.

**C.** The height of a Mercurial Cylinder that counterbalanc'd the pressure of the Atmosphere.

**D.** The Aggregate of the two last Columns *B* and *C*, exhibiting the pressure sustained by the included Air.

**E.** What that pressure should be according to the *Hypothesis*, that suppoies the pressures and expansions to be in reciprocal proportion.

For the better understanding of this Experiment it may not be amiss to take notice of the following particulars :

1. That the Tube being so tall that we could not conveniently make use of it in a Chamber, we were fain to use it on a pair of Stairs, which yet were very lightsom, the Tube being for prefer-  
vations

vation ne pouvait pas être traitée par l'arithmétique. Si nous décimalisons ses résultats et calculons la déviation standard, nous constatons que 20 des 25 résultats tombaient dans la gamme de l'erreur aléatoire. Il est également possible que la pression atmosphérique ait changé pendant la durée de cette expérience fastidieuse. De plus, rien ne fut fait pour s'assurer que seul de l'air sec soit contenu dans la branche fermée. Par ailleurs il n'était pas absolument garanti que le diamètre intérieur du tube fût uniforme (ce ne serait pas garanti non plus aujourd'hui pour un tube de verre ordinaire).

Dans l'ensemble, par conséquent, ce fut un bond remarquable dans l'inconnu. Nous savons maintenant que la loi de Boyle s'applique précisément seulement à un « gaz parfait », mais elle est approximativement correcte pour tous les usages ordinaires avec l'air dans des conditions isothermiques, si bien que toute personne connaissant la loi de Boyle peut l'appliquer à de nombreux phénomènes de tous les jours, même à la plongée sous-marine et à l'évacuation des sous-marins, ainsi qu'au comportement des gaz à grande profondeur sous les plates-formes pétrolières au grand large. Ce fut une contribution remarquable à la physique fondamentale. Sans elle, la thermodynamique aurait bien pu être retardée, bien qu'évidemment quelqu'un l'aurait inévitablement découverte.

Cette loi constituait une partie à peine notée des travaux de Boyle. Il établit les lois de la pression des fluides, décrit un baromètre portatif et un indicateur pour mesurer le vide. Il insista sur le fait que le poids spécifique était une propriété importante de toute substance et montra comment on pouvait l'utiliser pour détecter l'altération, exposer les revendications fausses intéressant les pierres précieuses, déterminer les phases de la fermentation, et ainsi de suite. Il écrivit sur la chaleur et le froid, sur la chimie et sur l'électricité. Il produisit, en 1664, un ouvrage remarquable intitulé « Expériences et considérations intéressantes les couleurs » (avant que Newton eût analysé la lumière blanche) dans lequel il fustigea les scolastiques et établit la subjectivité de la sensation et décrit les après-images négatives. Voilà qui n'est pas un mauvais dossier pour un homme que l'on a écarté comme un dilettante, une sorte d'enfant passionné étudiant sans comprendre. La vie de Robert Boyle fut, au contraire, dédiée à un objectif : la poursuite de la vérité.