

Loi de Boyle-Mariotte

MF 2400 13322



Mode d'emploi et résultats expérimentaux

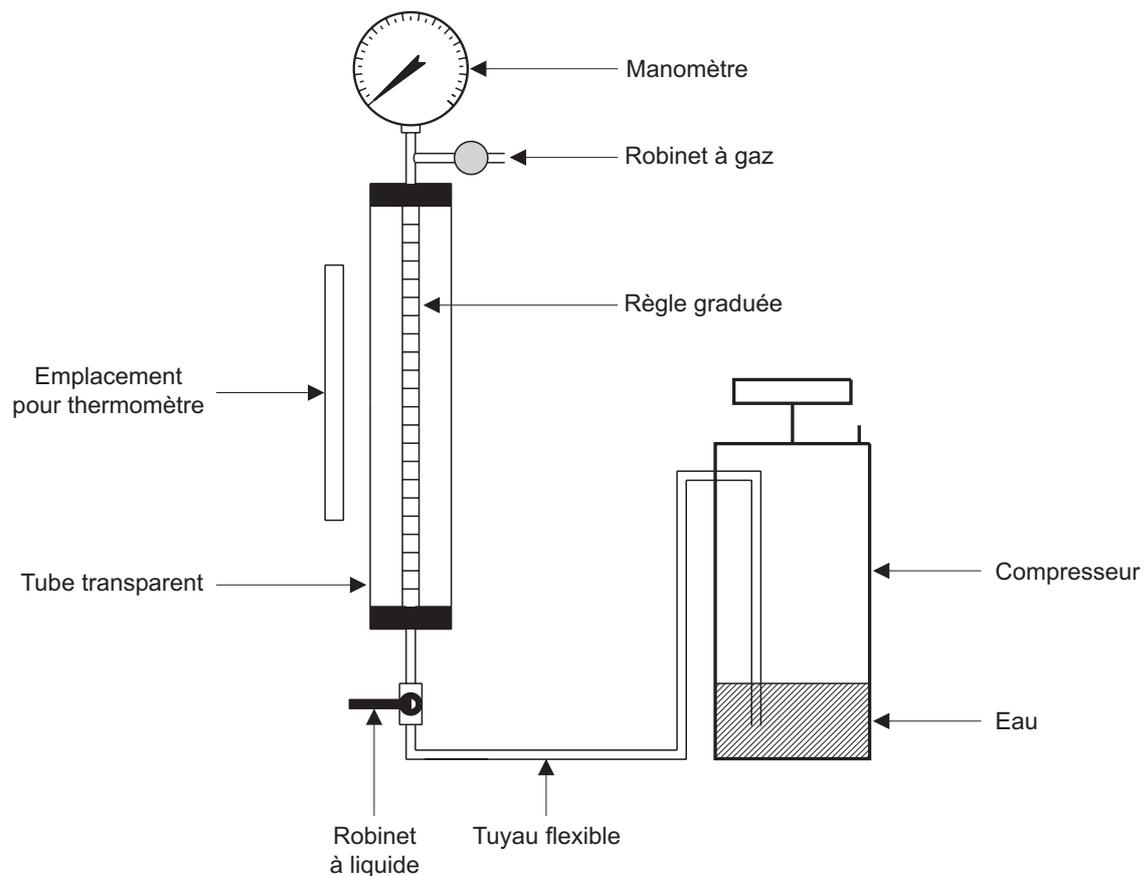


Centre technique et pédagogique
de l'Enseignement de la Communauté française

1. Description de l'appareil

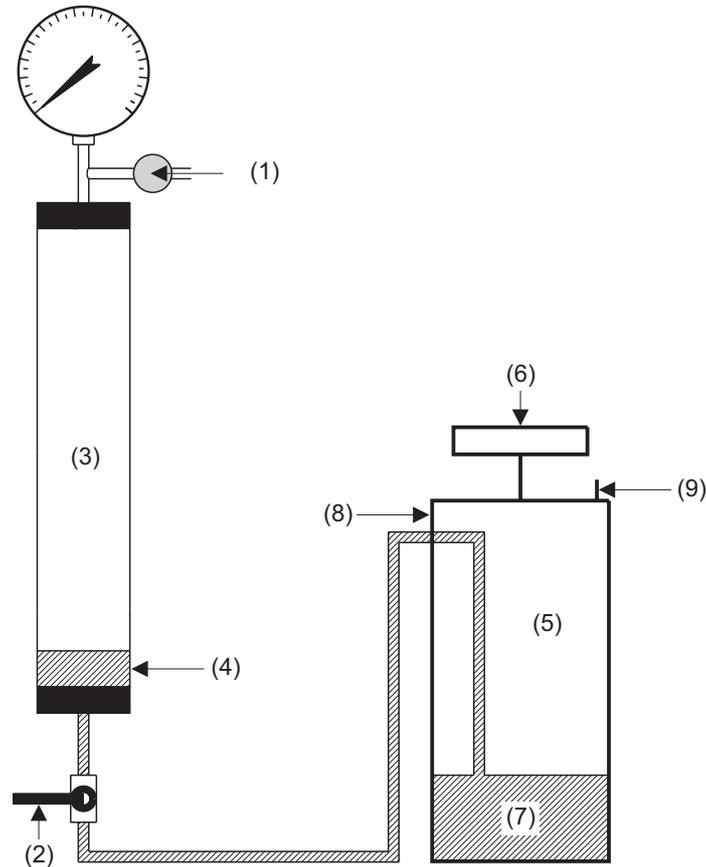
L'appareil est constitué:

1. d'un tube transparent dont le diamètre extérieur est de 50 mm; sa hauteur est d'environ 50 cm. Il est fixé sur un panneau maintenu verticalement à l'aide d'un support;
2. d'un manomètre de classe 1,0 (voir § 5, page 5: incertitudes de mesure) monté sur la partie supérieure du tube;
3. d'un robinet à gaz placé sous le manomètre; il permet d'amener la pression de l'air contenu dans le tube à la pression atmosphérique;
4. d'un compresseur contenant de l'eau déminéralisée qui peut être envoyée, par un tuyau flexible, à l'intérieur du tube transparent;
5. d'un robinet à liquide permettant de modifier la hauteur d'eau dans le tube;
6. d'une règle graduée placée derrière le tube;
7. d'un emplacement pour un thermomètre.



2. Principe de fonctionnement

Lorsque le robinet à gaz (1) est fermé, on peut, en ouvrant le robinet (2), faire varier le volume d'air (3) emprisonné dans le tube¹ transparent, en modifiant la hauteur de la colonne d'eau (4) située dans la partie inférieure du tube. Cette eau est chassée par de l'air (5) que l'on met sous pression dans le compresseur en pompant à l'aide de la poignée (6).



Le compresseur doit contenir suffisamment d'eau (7) pour que l'air (5) qu'il contient n'arrive pas dans le tube. La règle graduée, placée directement derrière le tube, permet de mesurer la hauteur de la colonne d'air pratiquement sans erreur de parallaxe. Connaissant le diamètre du tube, on en déduit le volume d'air qu'il contient. Pour déterminer le volume total de l'air réellement comprimé, il faut ajouter, au volume d'air contenu dans le tube, le volume intérieur des accessoires placés dans la partie supérieure de l'appareil. Ce volume est indiqué sur le support de l'appareil.

La pression relative, c'est-à-dire la surpression par rapport à la pression atmosphérique, est lue directement sur le manomètre. Pour déterminer la pression absolue, il suffit d'y ajouter la pression atmosphérique du moment.

¹ Ce tube peut résister à une pression relative de 2,5 bars. Il a été testé à cette pression au CTP.

On peut ainsi déterminer le lien entre la pression absolue p de l'air (3) et son volume V , à température constante. Un thermomètre placé à l'extérieur de l'appareil permet de vérifier la constance de la température ambiante².

On veillera à ne pas dépasser la pression relative de 1,5 bar.

Les mesures de p et de V peuvent également se faire en détendant le gaz lorsqu'il a été préalablement comprimé. Les résultats obtenus sont les mêmes que ceux déterminés lors de la compression du gaz.

3. Manipulation

1. Dévisser le bouchon du compresseur en enfonçant la poignée (6) jusqu'au moment où le corps de la pompe peut être extrait.
2. Enlever la pompe et verser dans le compresseur 1,5 litre d'eau déminéralisée (livrée avec l'appareil).
3. Replacer le corps de la pompe dans le compresseur et revisser hermétiquement le bouchon à l'aide de la poignée.
4. Vérifier que les bouchons de sortie (8) du compresseur et de la soupape de sécurité³ (9) sont bien serrés.
5. Ouvrir le robinet (1). Faire de même avec le robinet (2) en faisant tourner la poignée de 90° dans le sens antihorlogique.
6. Comprimer l'air (5) dans le compresseur en animant la poignée (6) d'un mouvement de va-et-vient jusqu'au moment où l'eau (4) apparaît dans le tube transparent.
7. Fermer le robinet (2), noter la hauteur h de la colonne d'air dans le tube ainsi que la pression atmosphérique. Le robinet (1) étant encore ouvert, la pression de l'air dans le tube est égale à la pression atmosphérique; le manomètre indique 0 bar.
Noter la température relevée par le thermomètre placé sur le support de l'appareil et veiller à ce qu'elle reste constante (ne pas exposer l'appareil à une source de chaleur ou aux courants d'air).
8. Fermer le robinet (1) afin que la masse d'air dans le tube transparent reste constante. La pression du gaz dans le tube est, à ce moment, toujours égale à la pression atmosphérique.
Ne plus toucher au robinet (1) pendant toute la durée de l'expérience.
9. Ouvrir le robinet (2), puis continuer à comprimer l'air (5) dans le compresseur. Dès que la pression relative atteint une valeur facilement lisible avec précision sur le manomètre (par exemple: 0,1 bar), fermer le robinet (2). Mesurer la hauteur h de la colonne d'air et noter les résultats.
10. Refaire le point 9 de la manipulation sans dépasser la pression relative de 1,5 bar (effectuer 10 à 15 mesures).
11. Noter la température indiquée par le thermomètre (elle doit rester constante).

² En plaçant une sonde thermométrique à l'intérieur du tube, on constate que, pendant la compression de l'air, la température s'élève d'environ 1 °C si la pression relative passe de 0 à 1,5 bar en 5 minutes.

³ Cette soupape est réglée par le fabricant à une pression relative de 3 bars.

On peut aussi réaliser les mesures lors de la détente du gaz; dans ce cas, on procède de la façon suivante⁴:

1. Ouvrir le robinet (2), soulever légèrement et pendant une durée très courte (environ 0,1 ou 0,2 s) la soupape (9) du compresseur jusqu'au moment où la pression du gaz atteint une valeur facilement mesurable avec précision sur le manomètre.
2. Refermer le robinet (2). Mesurer avec précision la hauteur h de la colonne de gaz. Noter les résultats obtenus.
3. Refaire les deux points précédents de la manipulation pour d'autres valeurs de la pression (effectuer 10 à 15 mesures).
4. Vider le compresseur et récupérer l'eau déminéralisée si l'appareil n'est pas utilisé pendant plusieurs semaines.

Remarque

Au départ de l'expérience, si on comprime trop rapidement l'air dans le compresseur, des bulles peuvent apparaître dans l'eau et se mélanger à l'air (3) que l'on veut comprimer dans le tube.

Si cet incident survient, il faut recommencer l'expérience. Pour cela, ouvrir les robinets (1) et (2), pomper et laisser entrer environ 20 cm d'eau dans le tube. Fermer le robinet (2) et attendre le dégazage de l'eau. Ouvrir alors le robinet (2) et soulever la soupape (9) pour faire retourner l'eau dégazée dans le compresseur. Refaire ensuite la manipulation à partir du point 5.

4. Exploitation des résultats expérimentaux

1. Noter les résultats obtenus dans un tableau tel celui ci-dessous et compléter les différentes colonnes sachant que:

V_{tube} : volume du gaz dans le tube; le diamètre intérieur du tube est indiqué sur l'appareil;

V_{int} : volume intérieur de la partie supérieure de l'appareil; ce volume est indiqué sur l'appareil;

V : volume total du gaz ($V = V_{\text{tube}} + V_{\text{int}}$);

p_{atm} : pression atmosphérique;

p_{rel} : pression relative du gaz, indiquée par le manomètre;

p : pression absolue du gaz ($p = p_{\text{atm}} + p_{\text{rel}}$);

θ_{ext} : température extérieure.

p_{rel} (bar)	h (cm)	p (bar)	V_{tube} (cm ³)	V (cm ³)	V^{-1} (cm ⁻³)	pV (J)

2. Tracer les graphiques $p = f(V)$ et $p = g(V^{-1})$. Que peut-on en déduire?

⁴ À condition que l'air (5) contenu dans le réservoir du compresseur soit à une pression égale à la pression du gaz (3) dans le tube.

5. Incertitudes de mesure

- L'appareil est équipé d'un manomètre de classe 1,0. Cela signifie que l'incertitude absolue sur la pression relative indiquée par l'appareil est de 1 % de la valeur à fond d'échelle. Puisque le manomètre est gradué jusqu'à 1,6 bar, l'incertitude absolue sur toutes les pressions vaut 0,016 bar si on suppose qu'il n'y a pas d'incertitude ou d'erreur de lecture significative. Cette incertitude est la même pour toutes les mesures.
- Le diamètre intérieur du tube a été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse numérique. Ce diamètre n'est pas constant: des différences de l'ordre du centième de millimètre sont constatées. La valeur moyenne du diamètre est indiquée sur l'appareil.

6. Exemple de résultats obtenus

Diamètre intérieur du tube: $(4,37 \pm 0,01)$ cm

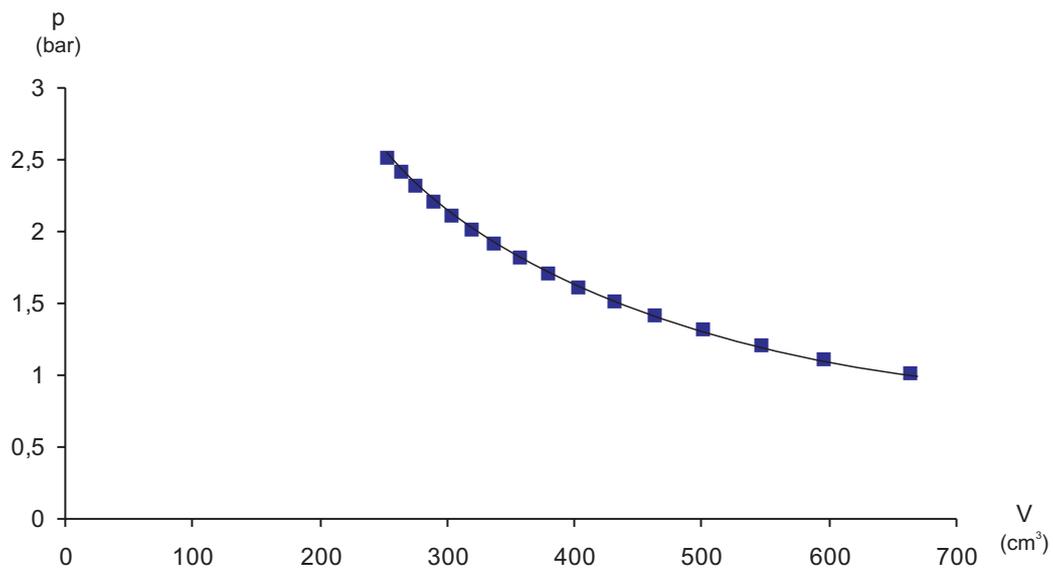
$\theta_{\text{ext}} = 19,5$ °C (constante pendant la durée de l'expérience)

$p_{\text{atm}} = (1,017 \pm 0,001)$ bar

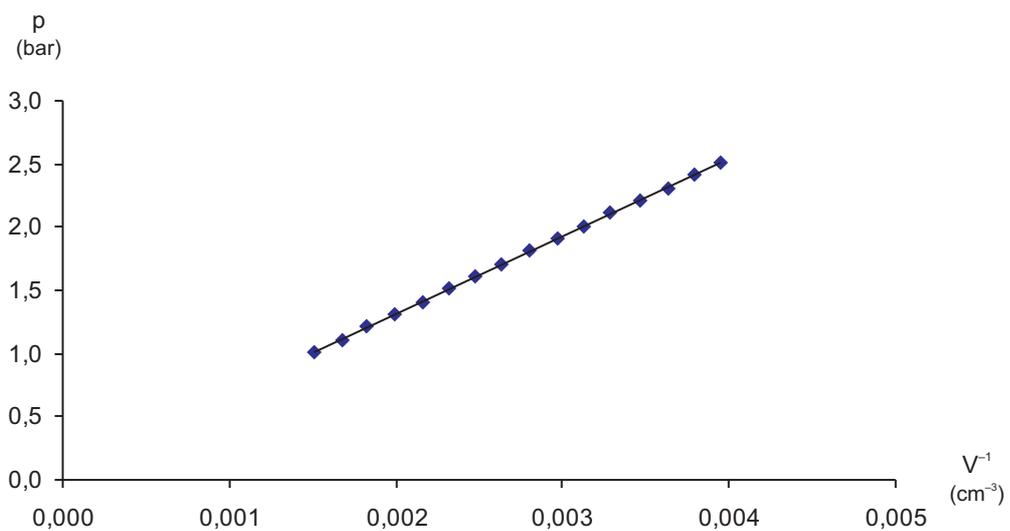
$V_{\text{int}} = (31 \pm 1)$ cm³

p_{rel} (bar)	h (cm)	p (bar)	V_{tube} (cm³)	V (cm³)	V⁻¹ (10⁻⁴ . cm⁻³)	pV (J)
0,000 ± 0,016	43,00 ± 0,05	1,017 ± 0,017	644,9 ± 3,7	675,9 ± 4,7	14,79 ± 0,08	68,7 ± 1,6
0,100 ± 0,016	39,00 ± 0,05	1,117 ± 0,017	584,9 ± 3,4	615,9 ± 4,4	16,24 ± 0,09	68,8 ± 1,5
0,200 ± 0,016	35,40 ± 0,05	1,217 ± 0,017	531,0 ± 3,2	562,0 ± 4,2	17,80 ± 0,10	68,3 ± 1,5
0,300 ± 0,016	32,40 ± 0,05	1,317 ± 0,017	486,0 ± 3,0	517,0 ± 4,0	19,34 ± 0,11	68,0 ± 1,4
0,400 ± 0,016	30,00 ± 0,05	1,417 ± 0,017	450,0 ± 2,8	481,0 ± 3,8	20,79 ± 0,12	68,1 ± 1,4
0,500 ± 0,016	27,80 ± 0,05	1,517 ± 0,017	417,0 ± 2,7	448,0 ± 3,7	22,32 ± 0,13	67,9 ± 1,3
0,600 ± 0,016	25,90 ± 0,05	1,617 ± 0,017	388,5 ± 2,5	419,5 ± 3,5	23,84 ± 0,14	67,8 ± 1,3
0,700 ± 0,016	24,10 ± 0,05	1,717 ± 0,017	361,5 ± 3,4	392,5 ± 3,4	25,48 ± 0,16	67,3 ± 1,3
0,800 ± 0,016	22,70 ± 0,05	1,817 ± 0,017	340,5 ± 2,3	371,5 ± 3,3	26,92 ± 0,17	67,5 ± 1,2
0,900 ± 0,016	21,40 ± 0,05	1,917 ± 0,017	321,0 ± 2,2	352,0 ± 3,2	28,41 ± 0,18	67,5 ± 1,2
1,000 ± 0,016	20,10 ± 0,05	2,017 ± 0,017	301,5 ± 2,1	332,5 ± 3,1	30,08 ± 0,19	67,1 ± 1,2
1,100 ± 0,016	19,00 ± 0,05	2,117 ± 0,017	285,0 ± 2,1	316,0 ± 3,1	31,65 ± 0,21	66,9 ± 1,2
1,200 ± 0,016	18,10 ± 0,05	2,217 ± 0,017	271,5 ± 2,0	302,5 ± 3,0	33,06 ± 0,22	67,1 ± 1,2
1,300 ± 0,016	17,10 ± 0,05	2,317 ± 0,017	256,5 ± 1,9	287,5 ± 2,9	34,79 ± 0,23	66,6 ± 1,2
1,400 ± 0,016	16,40 ± 0,05	2,417 ± 0,017	246,0 ± 1,9	277,0 ± 2,9	36,10 ± 0,24	66,9 ± 1,2
1,500 ± 0,016	15,60 ± 0,05	2,517 ± 0,017	234,0 ± 2,8	265,0 ± 2,8	37,74 ± 0,26	66,7 ± 1,2

Les incertitudes sont comprises dans la dimension des rectangles indiqués sur les graphiques.



Le graphique de $p = f(V)$ est une courbe. On peut seulement en déduire que p et V ne sont pas des grandeurs proportionnelles.



Le graphique de $p = g(V^{-1})$ est une droite qui, extrapolée, passe pratiquement par l'origine. Son équation, obtenue au moyen du programme Excel, est:

$$p = 6,5208 \cdot 10^{-2} V^{-1} + 5,79 \cdot 10^{-2}$$

Les coordonnées de son point de percée avec l'axe vertical sont: (0; 0,0579).

En tenant compte des incertitudes, la loi de Boyle-Mariotte est bien vérifiée: pour une masse donnée de gaz, le produit $p \cdot V$ est constant si la température du gaz reste constante.

7. Sécurité

Le tube transparent est en polycarbonate.

Le fabricant garantit qu'il peut résister à une pression de 2,5 bars. Des essais réalisés au CTP ont montré que ce tube pouvait résister à des pressions supérieures à 10 bars, pressions bien supérieures à celles utilisées lors du fonctionnement normal de l'appareil.