

Nom:..... Prénom:..... Classe:..... Date:

Découvrir la loi de Mariotte

✔ Objectifs

- ☐ Modèle de comportement d'un gaz : loi de Mariotte.
- ☐ Tester la loi de Mariotte, par exemple en utilisant un dispositif comportant un microcontrôleur.

👤 Classe

1^{ère} Spé

🕒 Durée

2 h

✂ Sur la paillasse

- un microcontrôleur *arduino uno* connecté à l'ordinateur;
- un capteur de pression MPX5500DP;
- trois câbles de connection mâle/femelle;
- une seringue de 60 mL et deux tuyaux aux diamètres adaptés à la seringue et au capteur. Ces tuyaux sont connectés de manière imperméable.

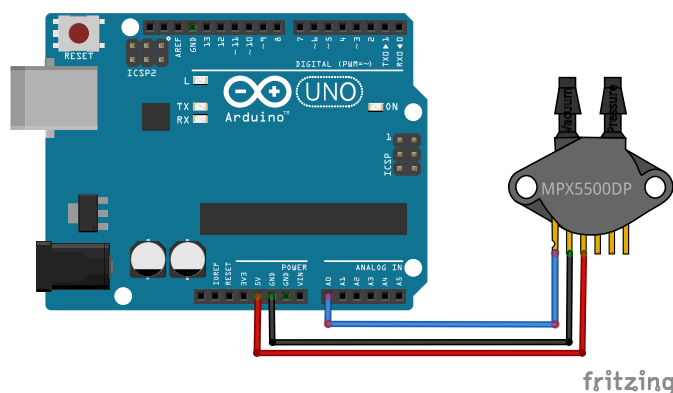
📄 Document 1: Capteur de pression MPX5500DP

Pour mesurer la pression, on utilise un capteur de pression MPX5500DP dont le schéma de câblage est fourni ci-dessous.

Il est alimenté par une tension de 5V à partir de la broche correspondante sur la carte Arduino. Lorsqu'on regarde le capteur du côté où l'on peut lire sa référence, le tuyau de mesure de la pression est celui en haut à droite.

Le capteur fournit une réponse en tension en fonction de la pression qui lui est appliquée. La valeur de la tension sera lue sur la broche A_0 .

Pour obtenir un affichage de la pression, il faudra réaliser un étalonnage du capteur en début de manipulation.



📄 Document 2: Étalonnage du capteur de pression

La carte Arduino mesure une tension U aux bornes du capteur MPX5500DP qui varie entre 0V et 5V selon la pression P régnant au niveau du tuyau de mesure. La pression P mesurée est reliée à la tension U mesurée par la droite d'étalonnage :

$$P = 1100 \times U + k \quad (1)$$

où k est une constante à étalonner.

La constante k doit être réglée par l'utilisateur de sorte que la pression mesurée par le capteur, lorsque celui-ci est à l'air libre, soit bien d'environ 1013 hPa.

¹TP basé en partie sur le travail de M. Briant.

Document 3: Mesure de la pression

On donne ci-contre le script Arduino que vous trouverez en cliquant sur le lien ci-dessous. Vous téléverserez ce programme sur la carte Arduino. Tel quel, le script permet juste d'afficher la tension lue aux bornes du capteur. À vous de modifier les lignes 16, 17 et 18 afin d'afficher la pression en hPa. Ensuite, il vous faudra modifier la ligne 15 de sorte à étalonner le capteur.



```
1 const int captPress = A0;
2 int valeur;
3 float tension;
4 float pression;
5
6 void setup() {
7   Serial.begin(9600);
8   pinMode(captPress, INPUT);
9 }
10
11 void loop() {
12   valeur = analogRead(captPress);
13
14   tension = valeur*5.0/1023.0;
15   pression = 1100*tension + 0;
16   Serial.print("Pression_mesurée:_");
17   Serial.print(pression);
18   Serial.print("_hPa\n");
19   delay(1000);
20 }
```

1 Loi de Boyle-Mariotte

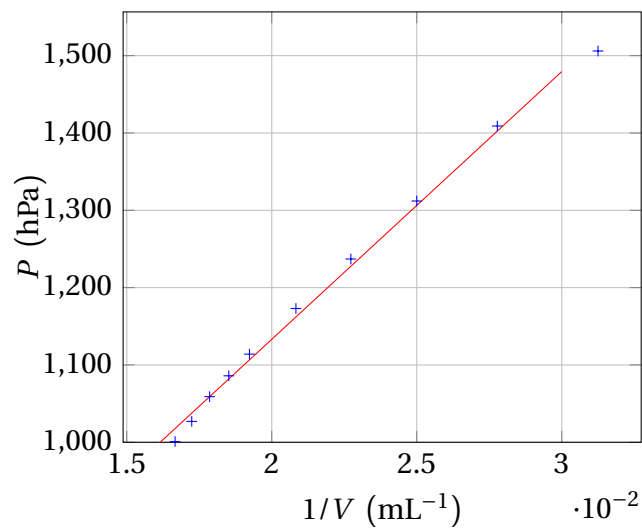
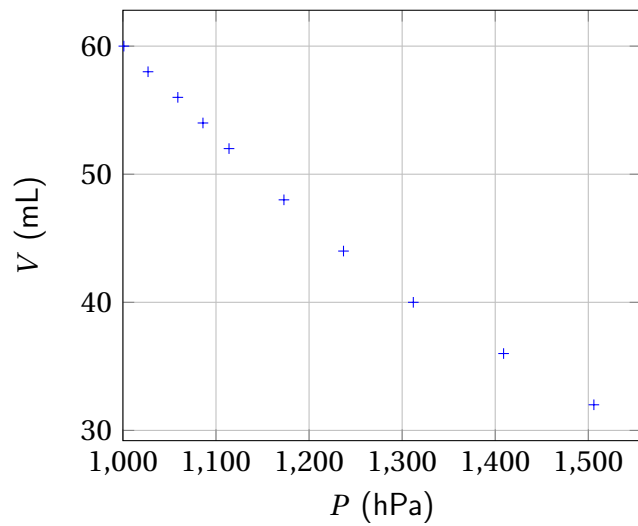
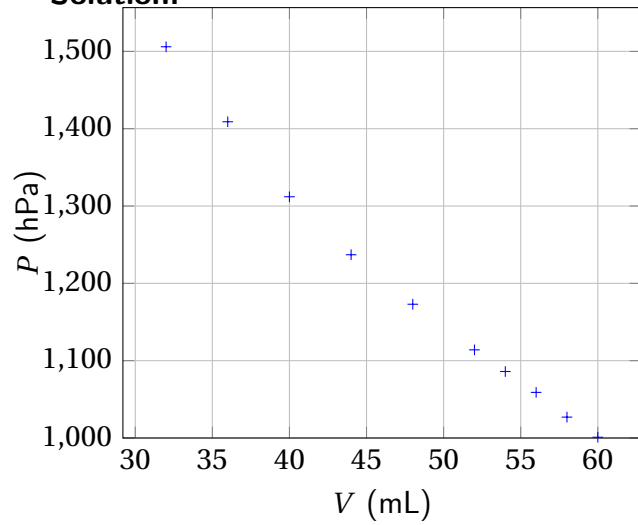
1. Travail à réaliser pour établir et démontrer expérimentalement la loi de Mariotte¹:
 - (a) Vous réaliserez les branchements du capteur de pression sur le microcontrôleur ;
 - (b) Vous téléchargerez le script arduino *mesurePressionvEleve.ino* et vous le complétez ;
 - (c) Vous étalonnerez le capteur de pression en complétant le script *mesurePressionvEleve.ino*;
 - (d) Vous relierez le tuyau de la seringue au tuyau de mesure du capteur de pression;
 - (e) Vous réglerez le piston de la seringue sur la graduation 60 mL, tuyau déconnecté du capteur de pression;
 - (f) Puis, tuyau relié au capteur de pression, vous effectuerez les mesures de pression suivantes:

Volume V en mL	60	58	56	54	52	48	44	40	36	32
Pression P en hPa	1001	1027	1059	1086	1114	1173	1237	1312	1409	1506

- (g) Se rendre sur *Capytale* pour effectuer le post-traitement des données à l'aide du programme *python*. Compléter le programme (lignes 5, 9 et 33) et tracer la courbe $P = f(V)$, $V = f(P)$ et $P = f(1/V)$.

<https://capytale2.ac-paris.fr/web/c/d21d-6820137>



Solution:

2. Que peut-on en conclure quant au produit $P \times V$?

Solution: Les courbes obtenues à partir des mesures :

- $P = f(V)$: non linéaire, la pression augmente lorsque le volume diminue.
- $V = f(P)$: non linéaire également.
- $P = f\left(\frac{1}{V}\right)$: points alignés, ce qui indique une proportionnalité.

D'après le graphique $P = f(1/V)$, comme les points sont alignés alors P est proportionnel à $1/V$ et donc P est inversement proportionnel à V . $P = f(V)$ et $V = f(P)$ ne montrent pas de proportionnalité entre ces grandeurs (les points ne sont pas alignés).

 Appel 1

Appeler le professeur pour vérification.

3. Votre conclusion sur le produit $P \times V$ est-elle toujours vérifiée ?

Solution: Les points apparaissent tous alignés donc la conclusion est toujours vérifiée.

2 Application au vol ascensionnel de Félix Baumgartner

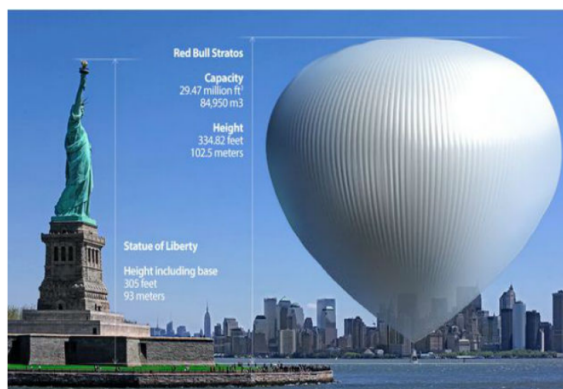
Document 4: Un exploit sensationnel

Le 14 Octobre 2012, Félix Baumgartner a utilisé un ballon stratosphérique gonflé à l'hélium (gaz moins dense que l'air) pour parvenir à une altitude de 39,45 km et a ensuite effectué un saut en chute libre depuis la stratosphère. L'ascension avec un ballon stratosphérique classique se divise en deux parties : la première phase s'effectue à masse constante (tout se passe comme si le ballon était hermétiquement fermé) et lors de l'ascension, on remarque que le volume de celui-ci augmente.

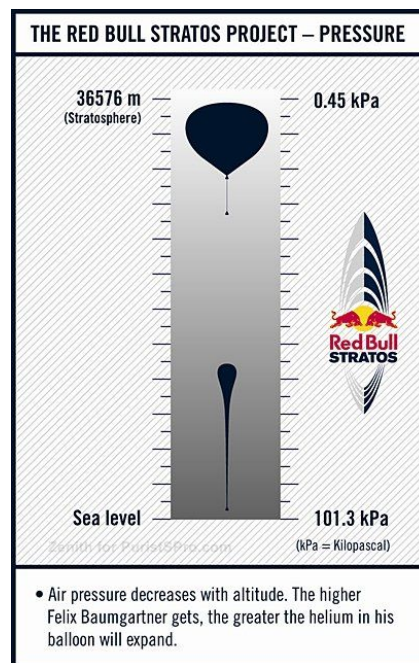
La montée se poursuit jusqu'à ce que l'enveloppe soit pleine. Toute augmentation de volume supplémentaire provoque un rejet de gaz par les ouvertures inférieures, appelées manches d'évacuation (deuxième phase).



Taille du ballon au décollage



Taille du ballon à 39 000 m d'altitude



4. Lors de la première phase de l'ascension du ballon stratosphérique, le nombre de molécules d'hélium à l'intérieur du ballon varie-t-il ou non ? Justifiez.

Solution: Le nombre de molécules d'hélium ne varie pas puisque l'ascension se fait à masse constant.

5. Le document ci-dessus montre l'évolution de la pression (pressure) et du volume du ballon au cours de l'ascension. Comment évolue le volume du ballon au cours de l'ascension ? Comment l'expliquer ?

Solution: Au cours de l'ascension, la pression extérieure du ballon diminue donc la pression intérieure également. Or, d'après la loi de Boyle Mariotte, si la pression diminue alors le volume du ballon augmente.

6. Comment évolue la pression à l'intérieur du ballon au cours de l'ascension ?

Solution: La pression extérieure diminue avec l'altitude. Le ballon se dilate donc, ce qui provoque une baisse de la pression intérieure également.

7. Pourquoi les ballons sondes météorologiques finissent par éclater à haute altitude tandis que le ballon stratosphérique de Félix Baumgartner n'éclate jamais ?

Solution: Les ballons sondes météorologiques éclatent car, en s'élevant, la baisse de pression extérieure provoque une augmentation du volume, jusqu'à dépasser la limite de résistance de l'enveloppe. Le ballon de Félix Baumgartner, lui, possède des manches d'évacuation qui permettent au gaz excédentaire de s'échapper lorsque l'enveloppe est pleine, évitant ainsi l'éclatement.

8. Au décollage, le ballon utilisé par Félix Baumgartner était gonflé par 5100 m^3 d'hélium. Ce volume était suffisant pour emporter Félix, son équipement et sa capsule de 3 tonnes. Déterminez le volume du ballon lorsque Félix atteint l'altitude de 36576 km.

Solution: D'après la loi de Boyle-Mariotte,

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \iff V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{101,3 \text{ kPa} \times 5100 \text{ m}^3}{0,45 \text{ kPa}} \approx 1,1 \times 10^6 \text{ m}^3$$

9. En faisant l'hypothèse que le ballon a la forme d'une sphère parfaite, calculer le diamètre du ballon à 36576 km et comparer son diamètre à la hauteur de la statue de la Liberté. L'estimation du volume est-elle cohérente ? Comment expliquer la différence de taille ?

Solution: Supposons que le ballon ait une forme sphérique à haute altitude.

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 \iff R = \left(\frac{3V}{4\pi}\right)^{1/3} \iff D = 2R$$

$$R = \left(\frac{3 \times 1,1 \times 10^6}{4\pi}\right)^{1/3} \approx 6,2 \times 10^1 \text{ m} \iff D \approx 122 \text{ m}$$

On attendait une hauteur de 102,5 m: la différence s'explique par le fait qu'il y a des pertes de gaz durant la phase de montée donc la loi de Boyle-Mariotte ne peut pas s'appliquer. L'ordre de grandeur est cependant cohérent.