

La pompe à  $\text{CO}_2$  est un appareil qui permet de gonfler rapidement les pneus de vélo. Munie d'une cartouche à  $\text{CO}_2$ , la pompe est capable de gonfler très rapidement et sans effort un pneu tubeless ou une chambre à air complètement à plat.

La capacité de gonflage dépend de la taille du pneu et de la masse de gaz contenue dans cartouche.

**Problématique :**

Une chambre à air a été remplacée sur un vélo. Initialement totalement vide de gaz, elle a un volume intérieur de 2 L si elle est gonflée à son volume maximal (celui du pneu).

Une cartouche de 16 g de  $\text{CO}_2$  pourra-t-elle gonfler la chambre à air à une pression de 6 bars ?



**Travail à réaliser :**

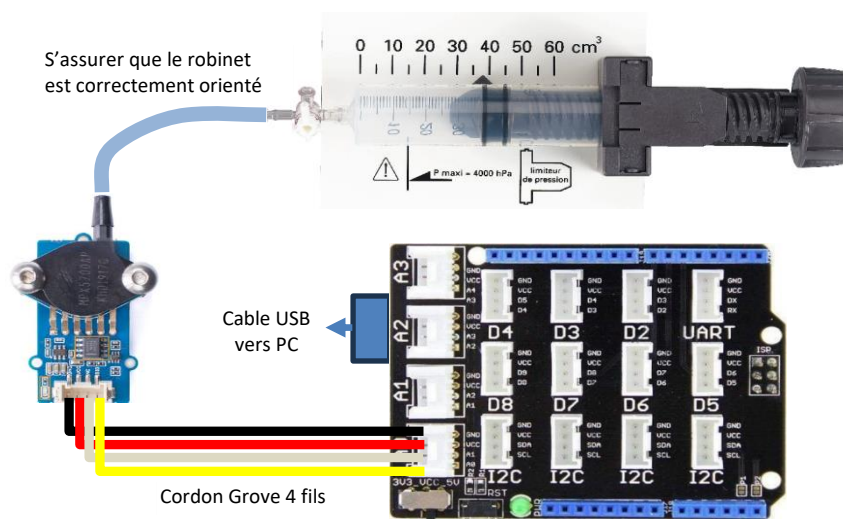
[source de l'activité](#)

1. Choisir, en cochant la case correspondante, parmi les propositions ci-dessous, celle qui semble exacte :

À température constante, si le volume d'une quantité donnée de gaz augmente alors :

- ☐ sa pression augmente     
 ☐ sa pression diminue     
 ☐ sa pression reste constante

2. On veut vérifier l'hypothèse émise à la question précédente. Réaliser le montage suivant qui permet d'obtenir une modélisation du volume d'un gaz, ici de l'air, en fonction de sa pression. La température étant supposée constante.




Le capteur de pression est branché sur la broche analogique A0, le sélecteur de tension est sur 5V.



*Lire le paragraphe 1 du document annexe.*

3. Réaliser le protocole suivant pour obtenir le graphe du volume  $V$  en fonction de la pression  $p$  :

- Ouvrir le fichier [microcontrôleurs.ino](#) puis procéder aux différents réglages (paragraphe 2 du document annexe).
- Téléverser le programme dans la carte (  ).
- S'assurer que les fichiers [microcontrôleurs.py](#) et [automatisation1.py](#) sont dans le même répertoire.
- Ouvrir le fichier [automatisation1.py](#) et vérifier que le port COM est correct.
- Vérifier que le robinet de la seringue est ouvert puis initialiser son volume à 60 mL.
- Orienter le robinet de façon à ce qu'il communique uniquement avec le capteur de pression.
- Exécuter le fichier [automatisation1.py](#) (faire une série de 9 mesures : de 60 mL à 20 mL par pas de 5 mL).
- Ne pas oublier de régler le volume de la seringue avant de valider les valeurs !!!!

4. Observer et enregistrer l'image du graphe de  $V=f(p)$ .

5. Dire si l'hypothèse de la question 1 est vérifiée : .....
6. L'allure du nuage de points suggère une évolution hyperbolique. Pour le vérifier, on va représenter graphiquement  $V$  en fonction de  $1/p$ , puis faire un ajustement linéaire du nuage de points. Pour cela :
- Ouvrir le fichier [automatisation2.py](#) et vérifier que le port COM est correct.
  - L'exécuter (faire une série de 5 mesures : de 60 mL à 20 mL par pas de 10 mL).
  - Observer et enregistrer l'image du graphe de  $V=f(1/p)$ .

7. Justifier qu'il était judicieux de faire un ajustement linéaire puis donner l'expression de  $V$  en fonction de  $p$  en négligeant le terme constant (qui correspond au volume de l'ensemble « tube + capteur + robinet »).
- .....
- .....

8. Cocher les propositions qui sont exactes :

À température constante, pour une quantité donnée de gaz, la pression  $p$  et le volume  $V$  sont tels que :

- ☐  $p$  et  $V$  sont proportionnels      ☐  $p$  et  $V$  sont inversement proportionnels
- ☐  $p \times V = \text{constante}$       ☐  $p/V = \text{constante}$

Plus généralement :

Une quantité  $n$  de gaz (parfait) enfermée dans un volume  $V$  vérifie la relation :  $pV = nRT$  C'est la loi des gaz parfaits

$p$  : pression en Pa,  
 $V$  : volume en  $\text{m}^3$ ,  
 $n$  : quantité de matière en mol,  
 $R$  : constante des gaz parfaits ( $8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ),  
 $T$  : température en K ( $T_K = 273,15 + \theta_{\text{C}}$ ).

En considérant une température constante, la relation devient :  $pV = \text{constante}$  c'est la loi de Boyle-Mariotte

Ainsi, **une même quantité de gaz** subissant une transformation **isotherme** entre deux états 1 et 2 vérifie :  $p_1V_1 = p_2V_2$

9. Calculer la quantité  $n$  de  $\text{CO}_2$  dans une cartouche qui en a une masse  $m = 16 \text{ g}$ . Rappel :  $n = \frac{m}{M}$  avec  $M(\text{CO}_2) = 44 \text{ g/mol}$ .
- .....

10. Déterminer la constante de la loi de Boyle-Mariotte pour cette situation puis en déduire la pression  $p$ , en bars, que l'on peut espérer en vidant complètement la cartouche dans la chambre à air.
- On donne : volume de la chambre à air gonflée =  $2 \text{ L} = 2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ , température =  $20^\circ\text{C} = 293,15 \text{ K}$ ,  $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ .
- .....
- .....

11. Répondre à la problématique.
- .....
- .....

12. Utiliser la dernière relation de l'encadré pour déterminer le volume de la chambre à air qu'il aurait fallu.
- .....

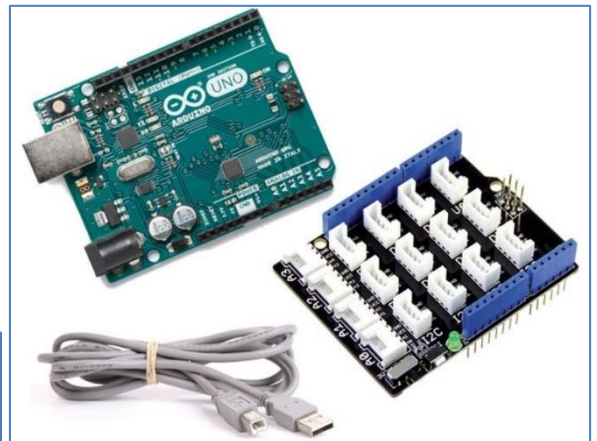
## Document annexe

### 1. La carte Arduino Uno, le shield Grove et le capteur de pression

La carte Arduino est un microcontrôleur, c'est à dire une sorte de mini-ordinateur qui sert d'interface entre l'environnement (actions, mesures de grandeurs...) et un utilisateur. Elle se programme nativement dans un langage dérivé du C : le langage « Arduino ».

Le shield Grove permet de réaliser plus simplement des montages à l'aide de connexions spécifiques dites « Grove ».

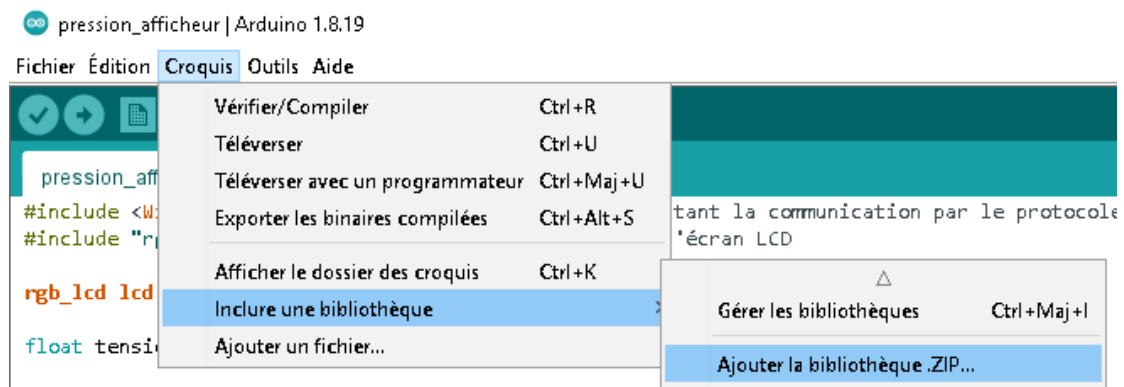
L'entrée analogique A0 reçoit la tension émise par le capteur de pression absolue. Si le capteur est alimenté en 5 V, la mesure de la pression s'échelonne de 15 kPa à 700 kPa pour une tension de sortie allant de 0,2 V à 4,7 V.



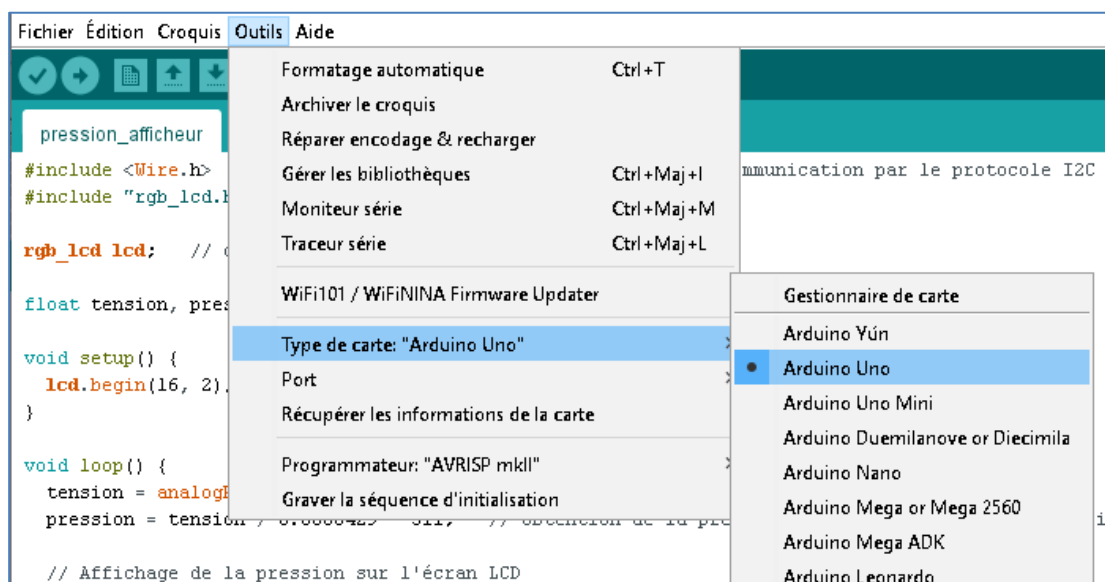
La carte Arduino convertit cette tension en une valeur comprise entre 0 et 1023 (codage sur 10 bits soit 1024 possibilités).

### 2. Le logiciel Arduino

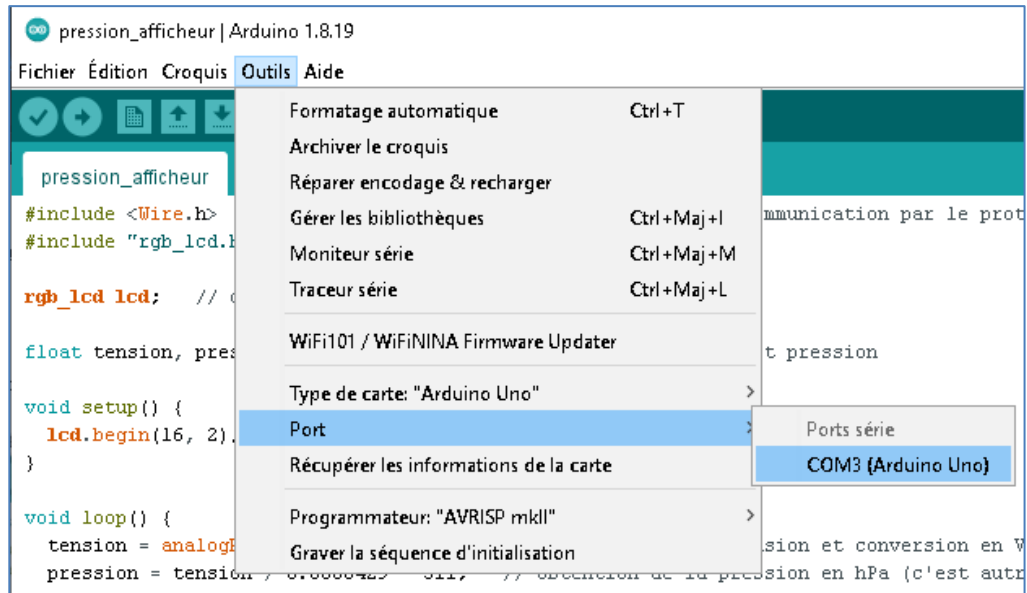
Pour cette activité, il faut installer la bibliothèque [Adafruit\\_MAX31865\\_Besançon.zip](#).



Il est nécessaire de sélectionner la carte utilisée lors du TP. Aller dans le menu « Outils » et sélectionner « Arduino Uno ».



Il faut aussi choisir le port de communication, qui peut être différent selon l'ordinateur et le port USB utilisés :



### 3. Le programme du fichier [automatisation2.py](#)

```
from microcontrolleurs import arduino
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

#creation de la commuication avec la carte arduino
#Le numero du port COM est à modifier
macarte = arduino("COM3")

#crée deux listes vides pour mettre les mesures
invP = []
volume = []

#demande à l'utilisateur le nb de points de mesure
nb_points=int(input("Entrez le nombre de points de mesure :"))

#remplit les listes avec les valeurs
for i in range(nb_points):
    #ajoute V dans la liste où V est entré par l'utilisateur
    volume.append(int(input("Entrez le volume V en mL :")))
    #ajoute 1/P mesurée par le capteur à la liste
    tension=macarte.entree_analogique(0) * 5 / 1023
    invP.append(1/(tension / 0.0006429 - 311))

#arrêt de la communication avec la carte arduino
macarte.fermer()
print(invP)
print(volume)

#equation de la caractéristique
modele=np.polyfit(invP,volume,1)
print("V = ",round(modele[0],1)," /p + ",round(modele[1],1))

# trace les points expérimentaux
plt.scatter(invP,volume, marker='o', color='blue' , label = "Points expérimentaux") # points bleus
# trace la droite d'ajustement
invP2= np.asarray(invP) #transforme la liste en tableau ... pour faire des calculs avec dans la ligne suivante
plt.plot(invP2, modele[0]*invP2 + modele[1], 'r--', label = "Modélisation") #tirets rouges
plt.axis([0,0.0015,10,70])
plt.title("Volume = f(1/p)")
plt.xlabel("1/p (hPa-1)")
plt.ylabel("Volume (mL)")
plt.legend(loc = "upper left")
plt.show()
```

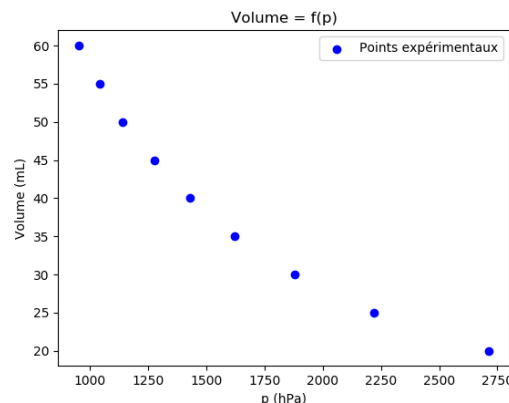
## Résultats expérimentaux

On ne fait jamais d'ajustement hyperbolique (l'atelier scientifique de Jeulin sait le faire, mais ce n'était pas probant). Lorsqu'on soupçonne une telle situation **on linéarise** et si on obtient une droite, c'est qu'on a vu juste 😊.

Voici la méthode :

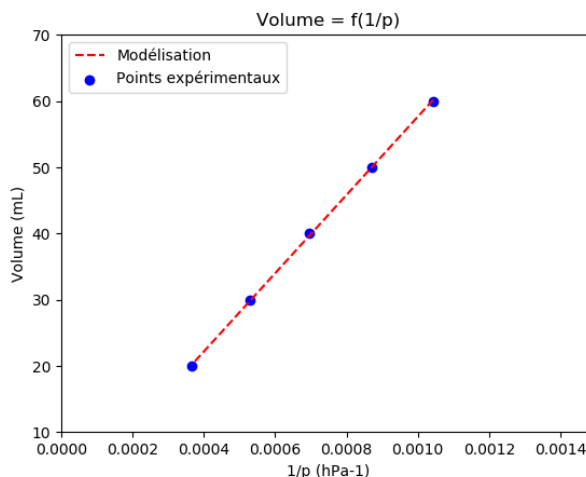
- On construit le graphe de  $V = f(p)$  : on soupçonne une tendance hyperbolique.

```
Entrez le nombre de points de mesure :9
Entrez le volume V en mL :60
Entrez le volume V en mL :55
Entrez le volume V en mL :50
Entrez le volume V en mL :45
Entrez le volume V en mL :40
Entrez le volume V en mL :35
Entrez le volume V en mL :30
Entrez le volume V en mL :25
Entrez le volume V en mL :20
[951.0, 1042.2, 1141.1, 1277.9, 1430.0, 1620.0, 1878.5, 2220.6, 2714.8]
[60, 55, 50, 45, 40, 35, 30, 25, 20]
```



- On construit le graphe de  $V = f(1/p)$  : on obtient bien une droite 😊.

```
Entrez le nombre de points de mesure :5
Entrez le volume V en mL :60
Entrez le volume V en mL :50
Entrez le volume V en mL :40
Entrez le volume V en mL :30
Entrez le volume V en mL :20
[0.0010431863846146702, 0.0008705784432598262, 0.0006956265649786292, 0.0005301960553919646, 0.00036732845585103855]
[60, 50, 40, 30, 20]
V = 59084.3 /p + -1.4
```



- On obtient  $V = \frac{59084,3}{p} - 1,4$
- L'ordonnée à l'origine correspond au volume d'air contenu dans l'ensemble « tube + capteur + robinet ». **Pour être plus rigoureux, on aurait dû, lors de l'acquisition, ajouter 1,4 mL à toutes les valeurs de V.** Inutile, ça n'aurait pas changé le coefficient directeur de la droite !

Donc, en négligeant le terme constant, on obtient :  $V = \frac{59084,3}{p}$

- La loi de Boyle-Mariotte donne :  $pV = 59084,3$  avec  $p$  en hPa et  $V$  en mL. **Ce résultat est-il satisfaisant ?**

$V = 60$  mL d'air donc, à  $20^\circ\text{C}$ ,  $n = 0,06/24 = 2,5 \times 10^{-3}$  mol (pour les gaz,  $n = V/V_{\text{molaire}} = V/24$ ,  $V$  et  $V_{\text{molaire}}$  en L)

En unités légales, la constante vaut donc  $nRT = 2,5 \times 10^{-3} \times 8,314 \times 293,15 \approx 6,1$ .

Attention, ce résultat est en  $\text{Pa} \cdot \text{m}^3$  car égal au produit  $pV$  (aussi en unités légales). En se ramenant en hPa et mL :

$6,1 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 = 6,1 \times 10^{-2} \text{ hPa} \times 10^6 \text{ mL} = 61000 \dots\dots$  **On n'est pas mal, le résultat est satisfaisant !**