

La pompe à CO₂ est un appareil qui permet de gonfler rapidement les pneus de vélo. Munie d'une cartouche à CO₂, 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 CO₂ pourra-t-elle gonfler la chambre à air à une pression de 6 bars ?



Travail à réaliser :

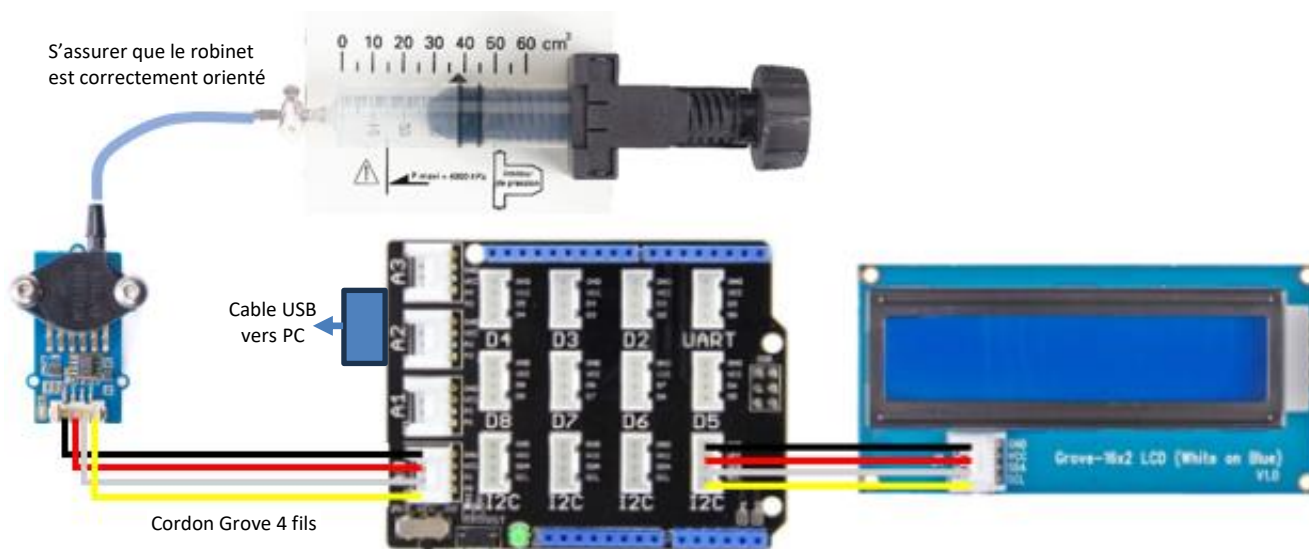
[source de l'activité](#)

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, l'afficheur LCD est branché sur un bus I2C. Le sélecteur de tension est sur 5V.



Lire le paragraphe 1 du document annexe.

3. Réaliser le protocole suivant pour initialiser les mesures :

- Ouvrir le fichier [Pression_afficheur.ino](#) puis procéder aux différents réglages (paragraphe 2 du document annexe).
- Téléverser le programme dans la carte ().
- 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.
- Ouvrir le fichier [pression.xlsx](#).

4. Par action sur la seringue, compléter la colonne p du tableau puis obtenir le nuage de points de V en fonction de 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, compléter la colonne $1/p$ du tableau puis obtenir le nuage de points de V en fonction de $1/p$.
7. Justifier qu'il est maintenant 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 »). Pour cela faire un clic droit sur un des points du nuage et « insérer une courbe de tendance – avec l'équation et R^2 ».

.....

.....

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 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 : $p_1 V_1 = p_2 V_2$

9. Calculer la quantité n de 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.

.....

(*) Attention à protéger sa main ! En effet, lors du gonflage, la pression dans la cartouche chute rapidement, ce qui se traduit par une forte baisse de sa température et peut provoquer des brûlures.

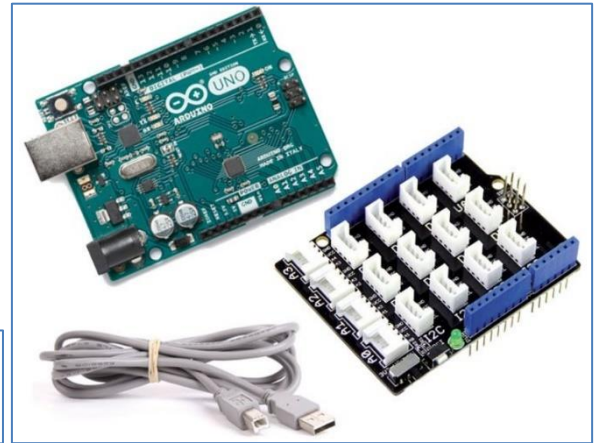
Document annexe

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.

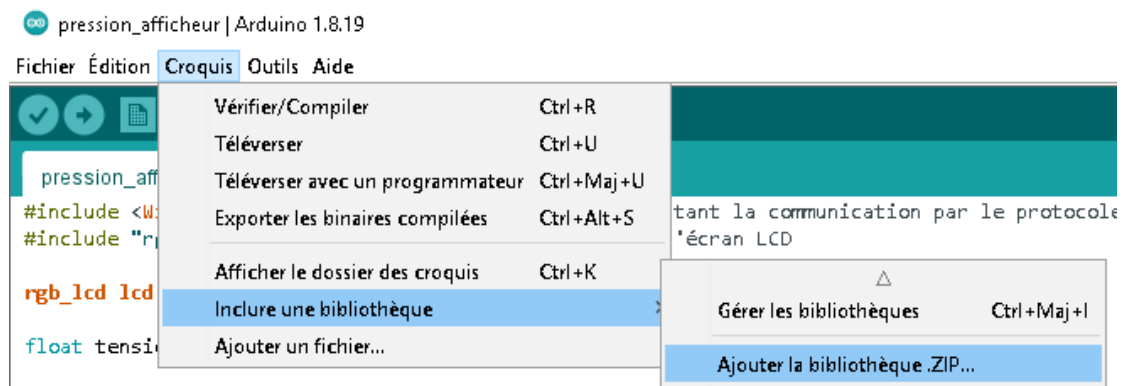


La carte Arduino convertit cette tension en une valeur comprise entre 0 et 1023 (codage sur 10 bits soit 1024 possibilités).

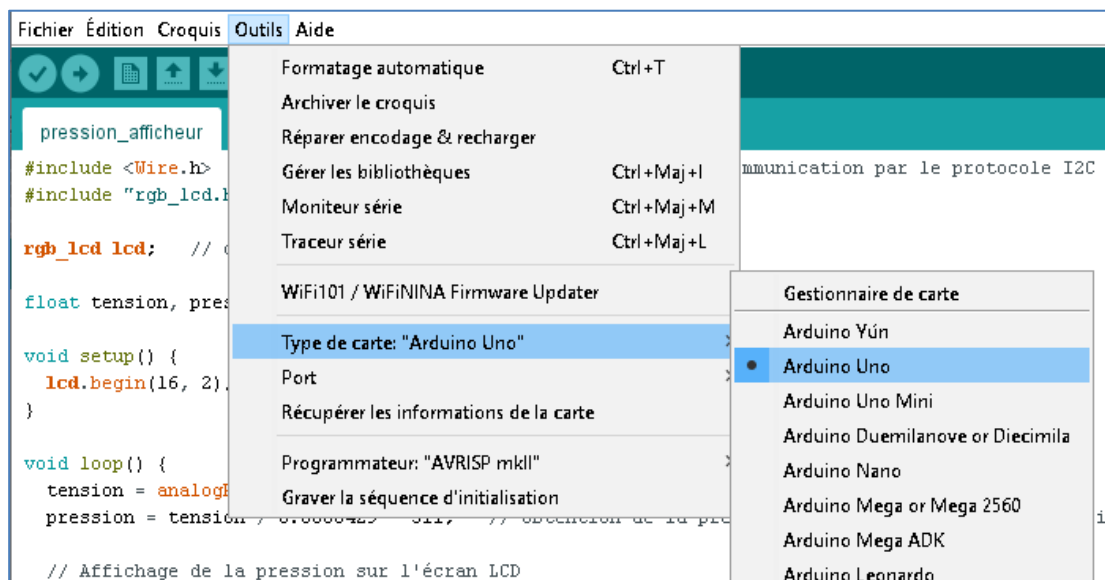
Le bus de communication I2C permet d'envoyer les informations « tension » et « pression » du programme à l'afficheur LCD.

2. L'afficheur LCD et le logiciel Arduino

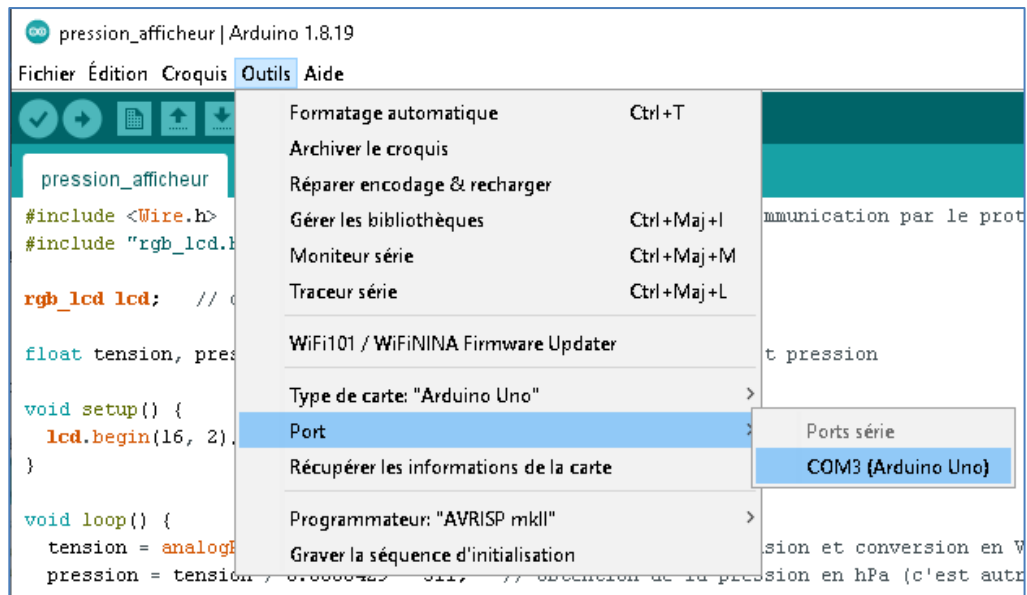
Pour fonctionner, l'afficheur LCD impose l'installation de la bibliothèque [Grove_LCD_RGB_Blacklight-master.zip](#).



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 [Pression afficheur.ino](#)

```
pression_afficheur

#include <Wire.h>           // inclure la bibliothèque permettant la communication par le protocole I2C
#include "rgb_lcd.h"        // inclure la bibliothèque pour l'écran LCD

rgb_lcd lcd;               // création d'un objet lcd

float tension, pression;    // Déclaration des variables tension et pression

void setup() {
  lcd.begin(16, 2);         // configurer le nombre de colonnes et de lignes de l'écran LCD :
}

void loop() {
  tension = analogRead(A0) * 5.0 / 1023.0;    // Lecture de la tension et conversion en V
  pression = tension / 0.0006429 - 311;        // Obtention de la pression en hPa (c'est autre expression de P)

  // Affichage de la pression sur l'écran LCD
  lcd.clear(); // effacer l'écran
  lcd.setCursor(0, 0); // mettre le curseur à la première colonne, première ligne
  lcd.print("U = ");
  lcd.print(tension, 2);
  lcd.print(" V");
  lcd.setCursor(0, 1); // mettre le curseur à la première colonne, deuxième ligne
  lcd.print("P = ");
  lcd.print(pression, 0);
  lcd.print(" hPa");

  delay(1000); //delai de 1000 ms
}
```

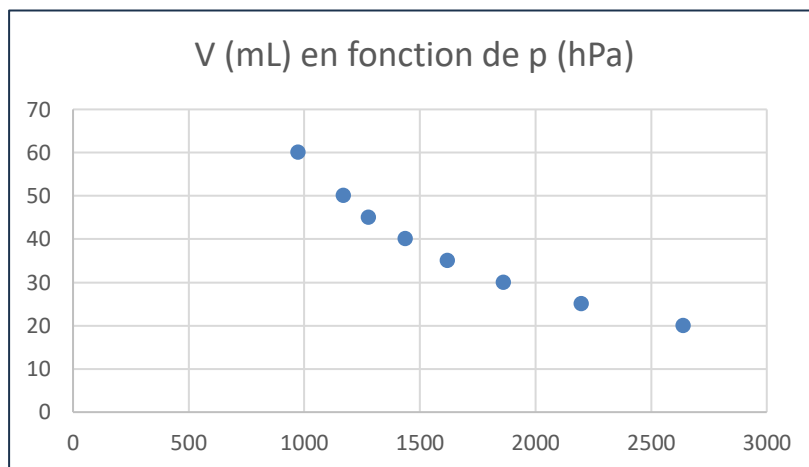
Résultats expérimentaux

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 :

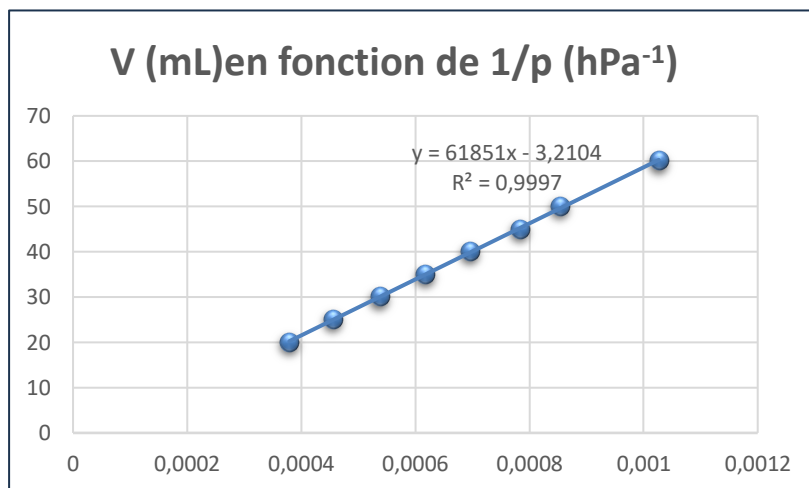
- On construit le graphe de $V = f(p)$: **on soupçonne une tendance hyperbolique**.

p (hPa)	V (mL)
974	60
1171	50
1278	45
1438	40
1620	35
1863	30
2198	25
2639	20



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

$1/p$ (hPa ⁻¹)	V (mL)
0,00102669	60
0,00085397	50
0,00078247	45
0,00069541	40
0,00061728	35
0,00053677	30
0,00045496	25
0,00037893	20



- La relation $y = 61851x - 3,2104$ équivaut à $V = \frac{61851}{p} - 3,2104$
- 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 3,2 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 : $V = \frac{61851}{p}$

- La loi de Boyle-Mariotte donne : $pV = 61851$ avec p en hPa et V en mL. **Ce résultat est-il satisfaisant ?**

$V = 60$ mL d'air donc, à 20°C, $n = 0,06/24 = 2,5 \times 10^{-3}$ mol (pour les gaz, $n = V/V_{\text{molaire}} = V/24$, V et V_{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 Pa.m³ car égal au produit pV (aussi en unités légales). En se ramenant en hPa et mL :

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