

# Optimiser la qualité de l'air dans les salles de sport : stratégies d'analyse et d'amélioration

*MARION -- MARCOT Yael n°29395*

*TIPE 2024*

*Thème : Jeux et sports*

# SOMMAIRE

- I : Contexte
- II : Problématiques et objectifs d'étude
- III : Assemblage et tests des capteurs
- IV : Méthode de dépollution d'une pièce confinée
- V : Caractérisation chimique et origine des polluants

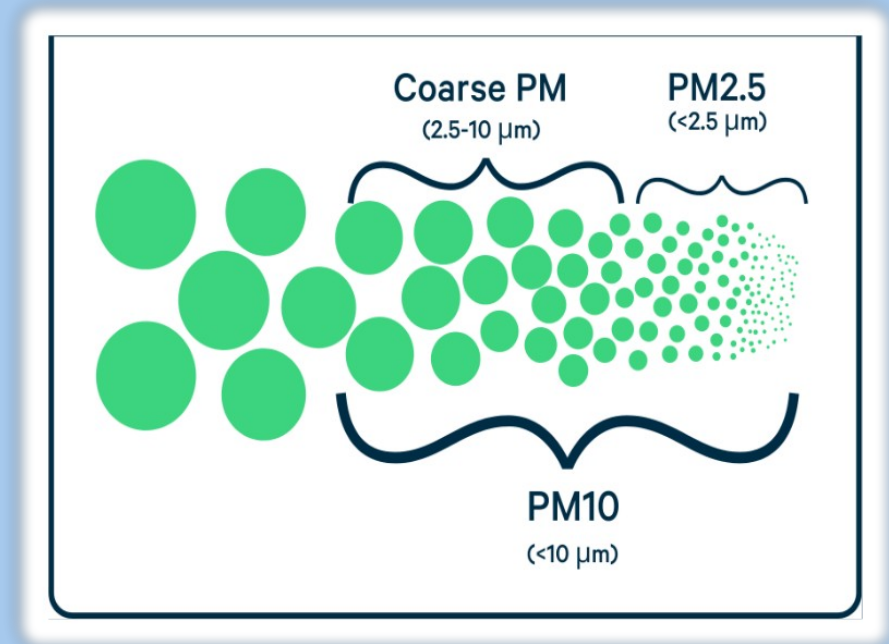
I

# CONTEXTUALISATION

Contexte	Problématiques et objectifs	Assemblage et test des capteurs	Méthodes de dépollution d'une pièce confinée	Caractérisation chimique et origine des polluants
----------	-----------------------------	---------------------------------	----------------------------------------------	---------------------------------------------------

## A. Différents types de polluants dans les salles des sports

- **Particules fines (PM10, PM2.5)**
- **Dioxyde de carbone**
- **Composés volatils (COV)**
- **Monoxyde de Carbone**
- **Ozone**



Contexte	Problématiques et objectifs	Assemblage et test des capteurs	Méthodes de dépollution d'une pièce confinée	Caractérisation chimique et origine des polluants
----------	-----------------------------	---------------------------------	----------------------------------------------	---------------------------------------------------

## B. Risques sur la santé des sportifs

- Maladies cardiaques
- Infections
- Difficultés respiratoires
- Baisse des performances



# II

## PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS D'ÉTUDES

Contexte	Problématiques et objectifs	Assemblage et test des capteurs	Méthodes de dépollution d'une pièce confinée	Caractérisation chimique et origine des polluants
----------	-----------------------------	---------------------------------	----------------------------------------------	---------------------------------------------------

## Problématique et objectifs d'étude

- Quels sont les principaux polluants dans les salles de sports ?
- Comment détecter leur présence ?
- Quelles sont les mesures de prévention mises en place pour prévenir et limiter les impacts des polluants sur la santé des sportifs

# **III**

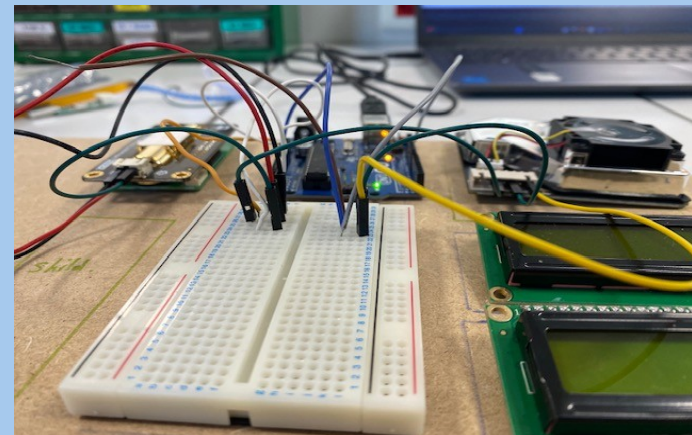
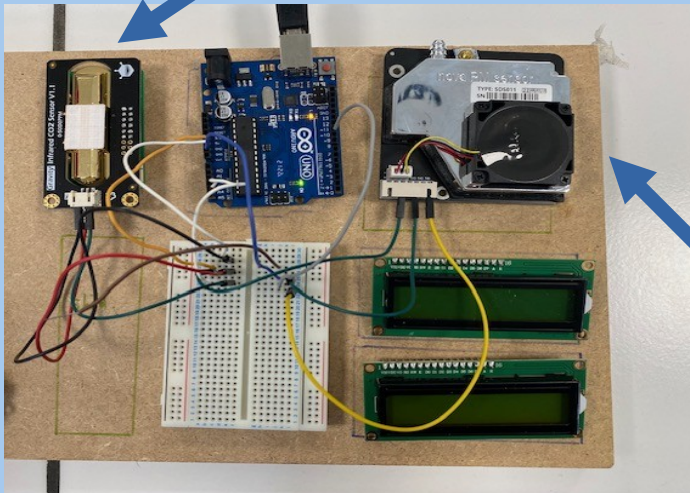
## **ASSEMBLAGE, TESTS DES CAPTEURS ET MESURES**



## A. Assemblage et tests des capteurs

- Assemblages des différents capteurs
- Codes Arduino
- Test

Capteur de CO2



Capteur de particules fines  
(PM2.5 et PM10)

Contexte	Problématiques et objectifs	Assemblage et test des capteurs	Méthodes de dépollution d'une pièce confinée	Caractérisation chimique et origine des polluants
----------	-----------------------------	---------------------------------	----------------------------------------------	---------------------------------------------------

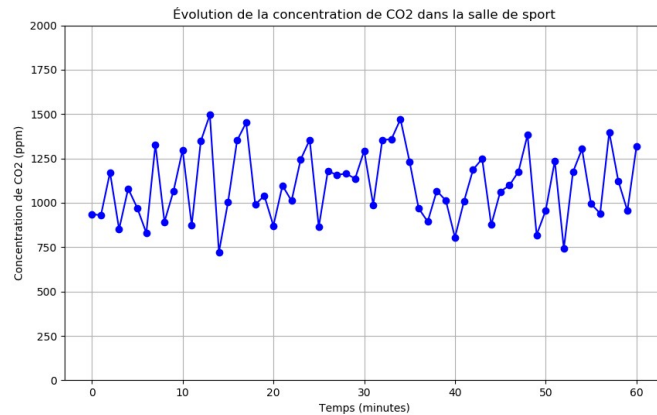
## B. Mesures

- Acquisition des mesures

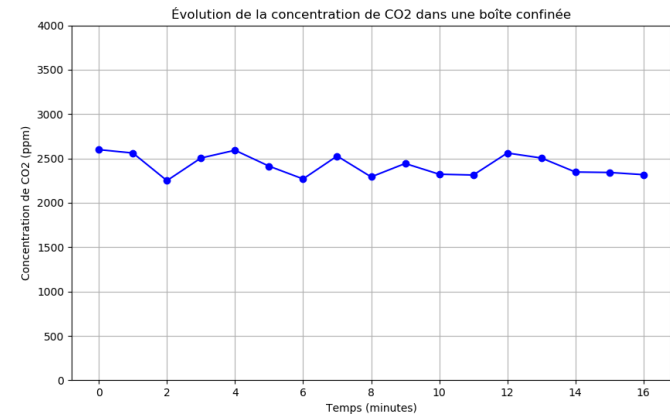
TIME	CH1	CH2
18:41:42,70	4,2	
18:41:41,69	4,2	
18:41:40,69	4,3	
18:41:39,69	4,3	
18:41:38,69	4,2	
18:41:37,69	3,7	
18:41:36,68	3,8	
18:41:35,68	3,6	
18:41:34,67	3,6	
18:41:33,67	3,5	

**Méthode :** Utilisation d'un tableur Excel

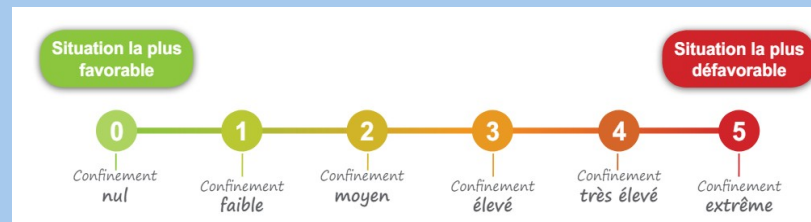
## C. Mesures dans des lieux confinés



### Salle de sport



### Boîte test



Contexte	Problématiques et objectifs	Assemblage et test des capteurs	Méthodes de dépollution d'une pièce confinée	Caractérisation chimique et origine des polluants
----------	-----------------------------	---------------------------------	----------------------------------------------	---------------------------------------------------

## D. Mesures des PM dans la salle de sport du lycée

- Expérience



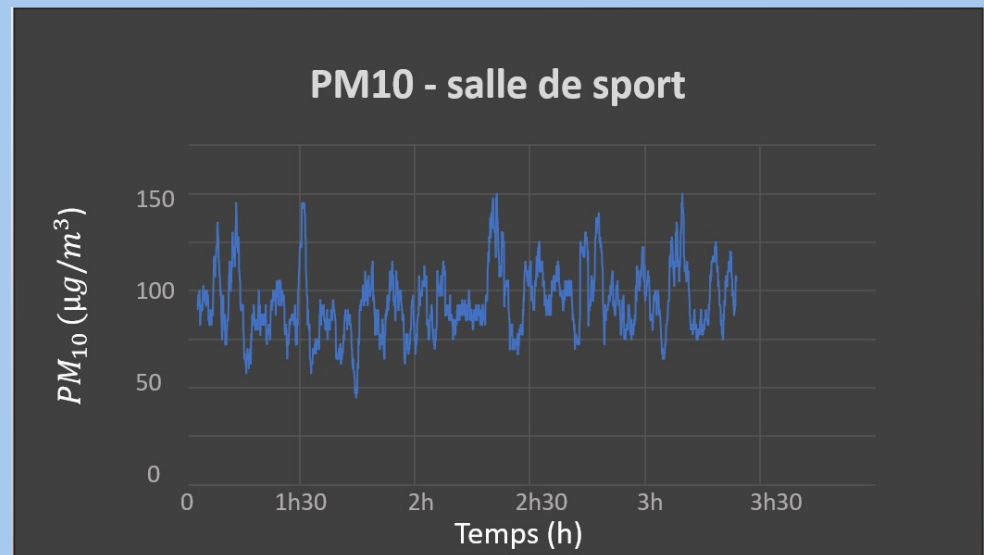
- Mesure de la concentration de PM
- Tracé d'un graphique
- Analyse des résultats

- Précautions :
  - Placer le capteur au centre de la pièce
  - Placer le capteur à environ 1m du sol

## D. Mesures des PM dans la salle de sport du lycée

### Analyse

- Sports pratiqués
- Nombres de personnes
- Aération ou non de la pièce
- Localisation de la salle



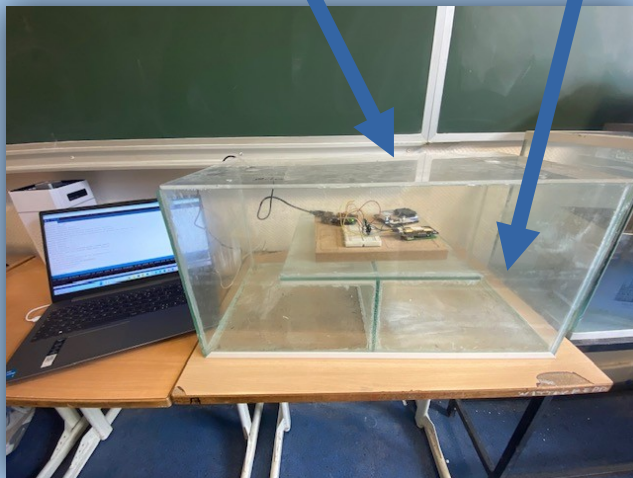
# IV

## MÉTHODES DE DÉPOLLUTION D'UNE PIÈCE CONFINÉE

Contexte	Problématiques et objectifs	Assemblage et test des capteurs	Méthodes de dépollution d'une pièce confinée	Caractérisation chimique et origine des polluants
----------	-----------------------------	---------------------------------	----------------------------------------------	---------------------------------------------------

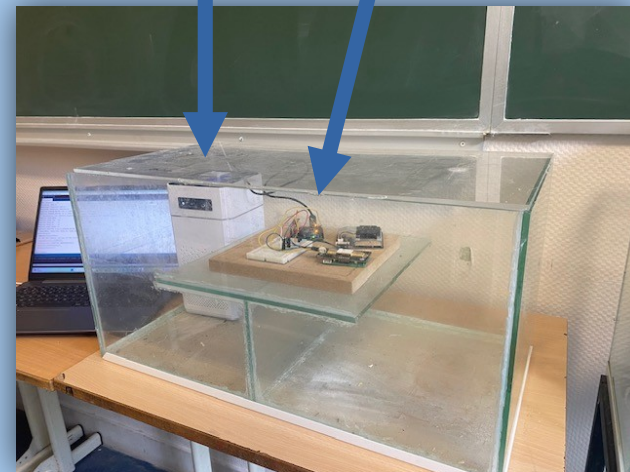
## A. Schémas du montage

Capteur de CO2      Bac pollué



Sans purificateur

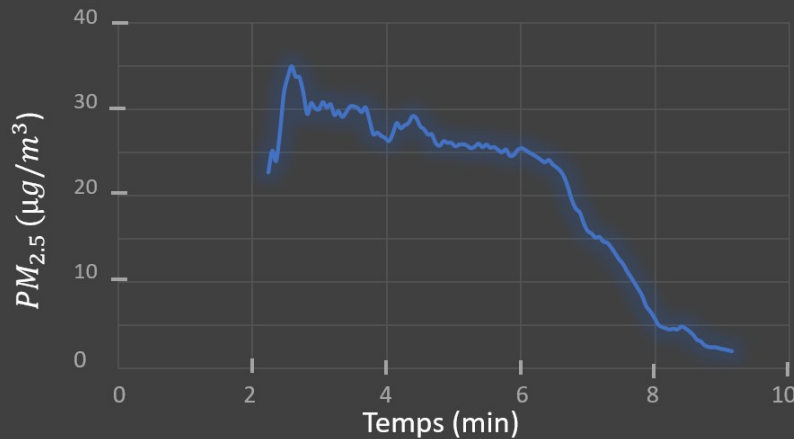
Purificateur d'air      Capteur de PM



Avec purificateur

## B. Influence de la ventilation

PM<sub>2.5</sub> avec ventilation



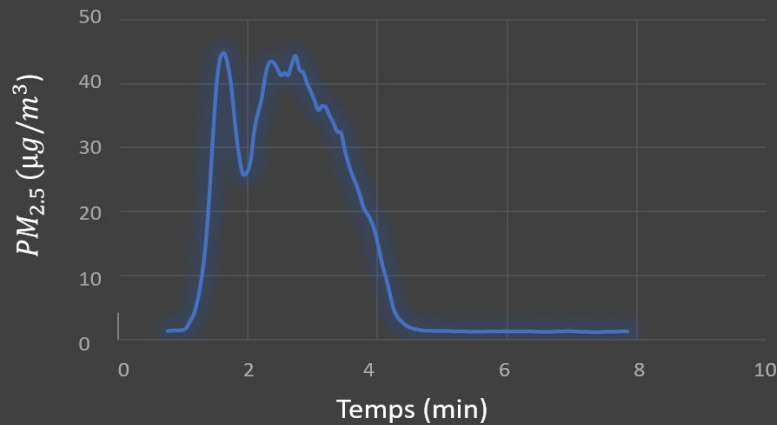
PM<sub>10</sub> avec ventilation



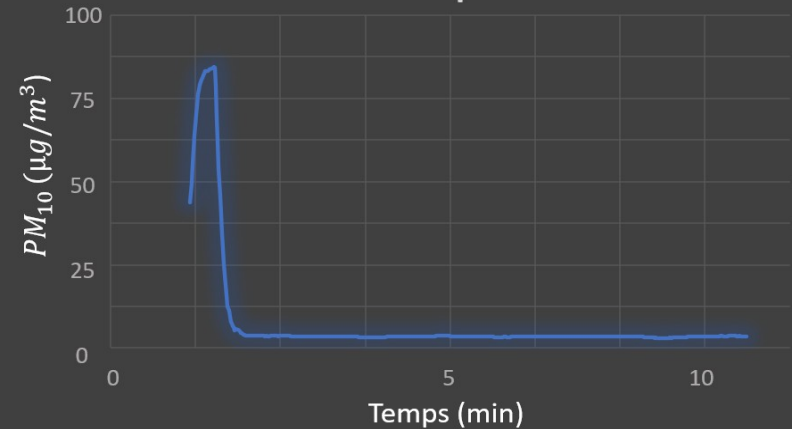


## B. Influence de la purification de l'air

PM<sub>2.5</sub> avec purificateur



PM<sub>10</sub> avec purificateur



Contexte	Problématiques et objectifs	Assemblage et test des capteurs	Méthodes de dépollution d'une pièce confinée	Caractérisation chimique et origine des polluants
----------	-----------------------------	---------------------------------	----------------------------------------------	---------------------------------------------------

## B. Quelle méthode choisir : Bilan

	Avantage	Inconvénients
Ventilation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Écologique</li> <li>- Pratique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risque de prendre froid</li> </ul>
Purification	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efficacité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût élevé</li> <li>- Peu écologique</li> </ul>

**V**

**CARACTÉRISATION  
CHIMIQUE ET ORIGINE  
DES POLLUANTS**

## A. Utilisation d'un spectrophotomètre de masse

### Objectif :

- Caractériser les espèces présentes sur le filtre
- Conclure sur la nature des particules que retient le filtre



## A. Analyse des résidus sur les filtres

### DIFFICULTÉS

- Réutilisation du même filtre à chaque fois
- Impossibilité d'accès au spectrophotomètre



Contexte	Problématiques et objectifs	Assemblage et test des capteurs	Méthodes de dépollution d'une pièce confinée	Caractérisation chimique et origine des polluants
----------	-----------------------------	---------------------------------	----------------------------------------------	---------------------------------------------------

## B. Origine des polluants

- Taux d'occupation et type d'activités physique pratiquées qui engendre une production de CO<sub>2</sub>
- Mauvais entretien des batiments, matériaux peu adaptés
- Environnement propice à la suspension des particules (Transpiration, Buée)
- Présence élevée de plastique (Machines, tapis, poids, chaussures de sports, habits de sports)



Contexte	Problématiques et objectifs	Assemblage et test des capteurs	Méthodes de dépollution d'une pièce confinée	Caractérisation chimique et origine des polluants
----------	-----------------------------	---------------------------------	----------------------------------------------	---------------------------------------------------

## C. Source polluante principale : Le plastique



# CONCLUSION

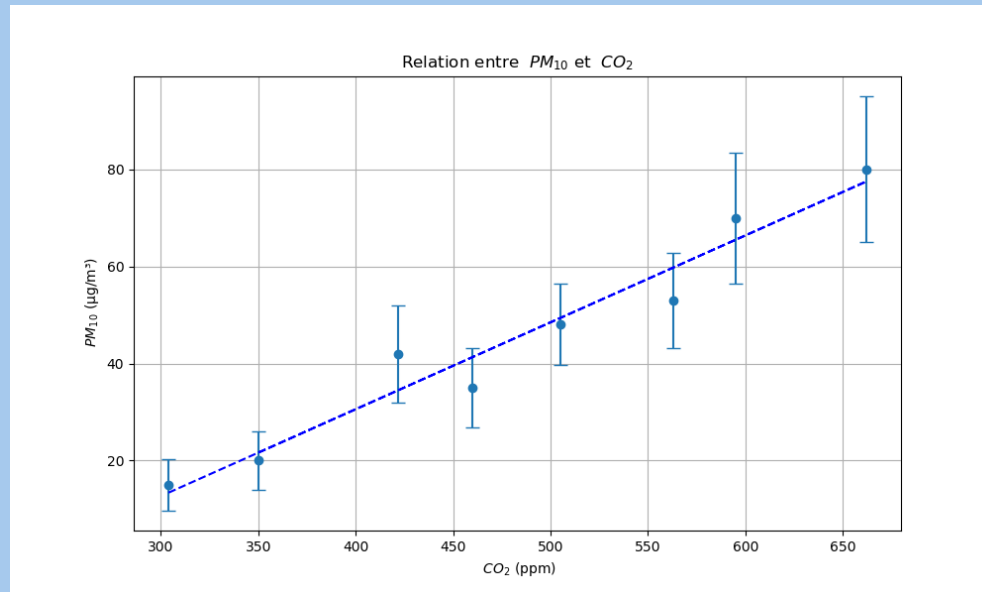


# Réponse à la problématique

- Quels sont les principaux polluants dans les salles de sports ?
- Comment détecter leur présence ?
- Quelles sont les mesures de prévention mises en place pour prévenir et limiter les impacts des polluants sur la santé des sportifs

# Annexe

# Lien entre CO2 et particules fines



Observation : corrélation entre le taux de  $CO_2$  et le niveau de particules fines

# Code - Capteurs

```
CO2_sensor.ino

int sensorIn = A4;
#include <SPI.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
#define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels
// Declaration for SSD1306 display connected using software SPI (default case):
#define OLED_MOSI 9
#define OLED_CLK 10
#define OLED_DC 11
#define OLED_CS 12
#define OLED_RESET 13
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT,
  OLED_MOSI, OLED_CLK, OLED_DC, OLED_RESET, OLED_CS);
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  // Set the default voltage of the reference voltage
  analogReference(DEFAULT);
  display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC);
  display.clearDisplay();
  display.display();
}
void loop() {
  //Read voltage
  int sensorValue = analogRead(sensorIn);
  // The analog signal is converted to a voltage
  float voltage = sensorValue*(5000/1024.0);
  if(voltage == 0)
  {
    Serial.println("Fault");
  }
  else if(voltage < 400)
  {
    Serial.println("preheating");
  }
  else
  {
    int voltage_difference=voltage-400;
    float concentration=voltage_difference*50.0/16.0;
    //Print CO2 concentration
    Serial.print(concentration);
    Serial.println("ppm");
    display.setTextSize(2);
    display.setTextColor(WHITE);
    display.setCursor(18,43);
    display.println("CO2");
    display.setCursor(63,43);
    display.println(" (PPM)");
    display.setTextSize(2);
    display.setCursor(28,5);
    display.println(concentration);
    display.display();
    display.clearDisplay();
  }
  delay(100);
}
```

Programme CO2

```
Programme_PM10$

#include <SDS011.h>

float p10,p25;
int error;

SDS011 my_sds;

void setup() {
  my_sds.begin(10,11);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  error = my_sds.read(&p25,&p10);
  if (! error) {
    Serial.println(String(p10));
  }
  delay(100);
}
```

Programme PM10

```
Programme_PM2_5$

#include <SDS011.h>

float p10,p25;
int error;

SDS011 my_sds;

void setup() {
  my_sds.begin(10,11);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  error = my_sds.read(&p25,&p10);
  if (! error) {
    Serial.println(String(p25));
  }
  delay(5000);
}
```

Programme PM2.5

# Code - Graphiques

```
import matplotlib.pyplot as plt

temps = list(range(0, 17, 1))
concentration_CO2 = [2599, 2561, 2250, 2505, 2592, 2413, 2269, 2527, 2292,
2443, 2322, 2313, 2561, 2505, 2347, 2342, 2317]

plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(temps, concentration_CO2, marker='o', color='b')
plt.title("Évolution de la concentration de CO2 dans une boîte confinée")
plt.xlabel("Temps (minutes)")
plt.ylabel("Concentration de CO2 (ppm)")
plt.grid(True)
plt.ylim(0,4000)
plt.show()
```

Programme graphique CO2 dans boîte

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

co2 = [304,422,460,595,662,563,505,350] #en ppm

'u_co2 = [65.2, 71.1,73, 79.75, 83.1, 77.6, 75.25,67.5]'

pm10 = [15,42,35,70,80,53,48,20] #en µg/m³
u_pm10 = [5.25, 10.05, 8.25, 13.5, 15, 9.75, 8.4,6]

N = 100000

reg = np.polyfit(co2, pm10, 1) # polynome de degré 1
fit = np.polyval(reg, co2)

plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.errorbar(co2, pm10, yerr=u_pm10, fmt='o', label='PM10/CO2', capsize=5)
plt.plot(co2, fit, color='blue', linestyle='--', label='Régression linéaire')
plt.xlabel('$\ CO_2$ (ppm)')
plt.ylabel('$\ PM_{10}$ (µg/m³)')
plt.title('Relation entre $\ PM_{10}$ et $\ CO_2$')
plt.grid(True)
plt.show()

def score(pm10,fit):
    y_bar = np.mean(pm10)
    num = np.sum((pm10 - fit)**2)
    den = np.sum((pm10 - y_bar)**2)
    return 1 - num/den

print(score(pm10,fit))
```

```
>>>
*** Console de processus distant Réinitialisée ***
0.9506604197267616
```

Programme graphique CO2/PM

# Spectromètre de masse

But :

- analyser des composés organiques solides, liquides ou gazeux.
- déterminer la masse moléculaire
- corréler le spectre d'un composé avec sa structure
- expliquer des mécanismes de ruptures de liaisons

Séparation des ions en  
fonction du  $m/z$

Comptage des ions

SOURCE

ANALYSEUR

DETECTEUR

ENREGISTREUR

Production d'ions en phase  
gazeuse

Sous vide

Traitement du signal

# Spectromètre de masse

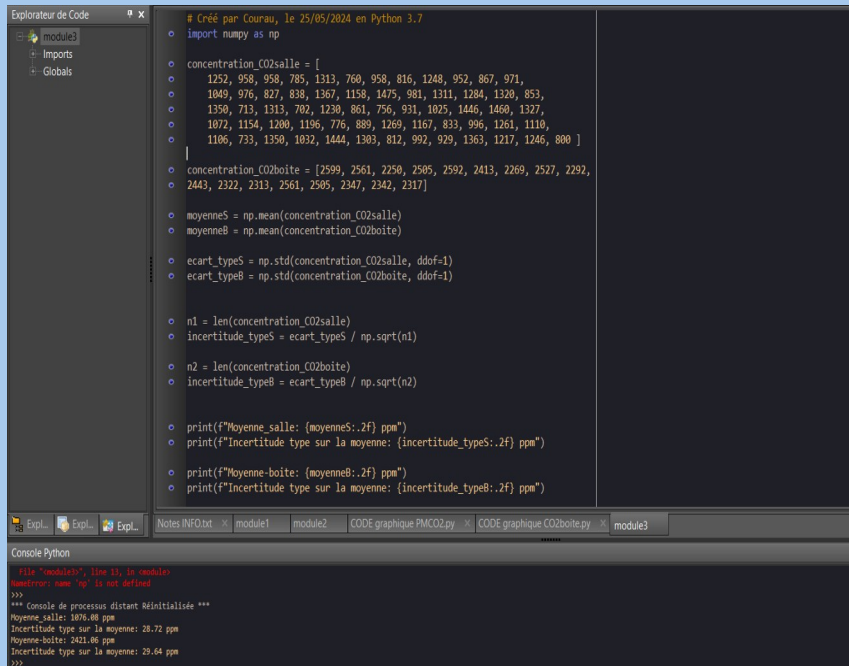
## Sources d'ionisation

- L'impact électronique (G)
- L'ionisation chimique (G)
- L'electrospray (G)
- Bombardement par atomes rapides (L)
- Désorption-ionisation laser assistée par matrice (S)
- Désorption plasma (S)

## Analyseurs

- L'analyseur magnétique
- L'analyseur quadripolaire
- L'analyseur à piégeage d'ions (trappe ionique)
- L'analyseur à temps de vol

# Incertitudes et moyennes (TYPE A)



```
# Créé par Courau, le 25/05/2024 en Python 3.7
import numpy as np

concentration_CO2salle = [
    1252, 958, 958, 785, 1313, 760, 958, 816, 1248, 952, 867, 971,
    1049, 976, 827, 838, 1367, 1158, 1475, 981, 1311, 1284, 1328, 853,
    1350, 713, 1313, 702, 1230, 861, 756, 931, 1025, 1446, 1460, 1327,
    1072, 1154, 1200, 1196, 776, 889, 1269, 1167, 833, 996, 1261, 1110,
    1106, 733, 1350, 1032, 1444, 1303, 812, 992, 929, 1363, 1217, 1246, 800 ]

concentration_CO2boite = [2599, 2561, 2258, 2505, 2592, 2413, 2269, 2527, 2292,
    2443, 2322, 2313, 2561, 2505, 2347, 2342, 2317]

moyenneS = np.mean(concentration_CO2salle)
moyenneB = np.mean(concentration_CO2boite)

ecart_typeS = np.std(concentration_CO2salle, ddof=1)
ecart_typeB = np.std(concentration_CO2boite, ddof=1)

n1 = len(concentration_CO2salle)
incertitude_typeS = ecart_typeS / np.sqrt(n1)

n2 = len(concentration_CO2boite)
incertitude_typeB = ecart_typeB / np.sqrt(n2)

print(f"Moyenne salle: {moyenneS:.2f} ppm")
print(f"Incertitude type sur la moyenne: {incertitude_typeS:.2f} ppm")

print(f"Moyenne-boite: {moyenneB:.2f} ppm")
print(f"Incertitude type sur la moyenne: {incertitude_typeB:.2f} ppm")
```

Console Python

```
File "module3", line 13, in module3
  nameError: name 'np' is not defined
>>>
*** Console de processus distant Réinitialisée ***
Moyenne_salle: 1076.08 ppm
Incertitude type sur la moyenne: 28.72 ppm
Moyenne-boite: 2421.08 ppm
Incertitude type sur la moyenne: 29.64 ppm
>>>
```

Formule utilisée :

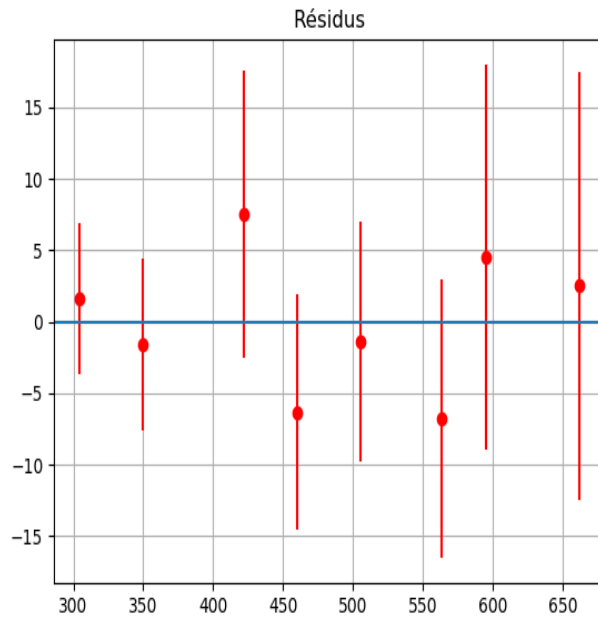
$$u(x) = \frac{\sigma(x)}{\sqrt{n}}$$

Code (graphique CO2)



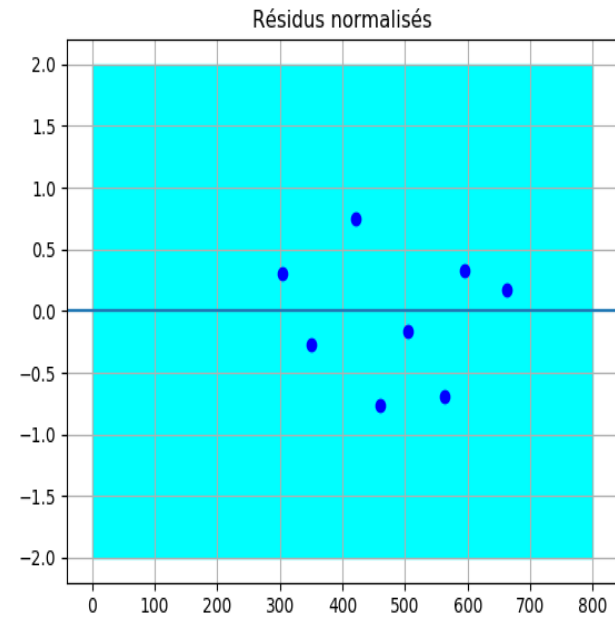
# Incertitudes et moyennes (régression linéaire)

Résidus



```
residus = pm10 - fit
plt.figure(2)
plt.errorbar(co2, residus, yerr=u_pm10, fmt='ro')
plt.title("Résidus")
plt.axhline() # Adds a horizontal line at y=0
plt.grid()
plt.show()
```

Résidus normalisés



```
residus_norm = (pm10 - fit)/u_pm10
plt.figure(3)
plt.plot(co2, residus_norm, 'bo')
plt.fill_between([0, 800], y1=-2, y2 = 2, color = 'cyan', alpha = 1.)
plt.title("Résidus normalisés")
plt.axhline() # Adds a horizontal line at y=0
plt.grid()
plt.show()
```

# Matériel utilisé

## Purificateur d'air et son filtre

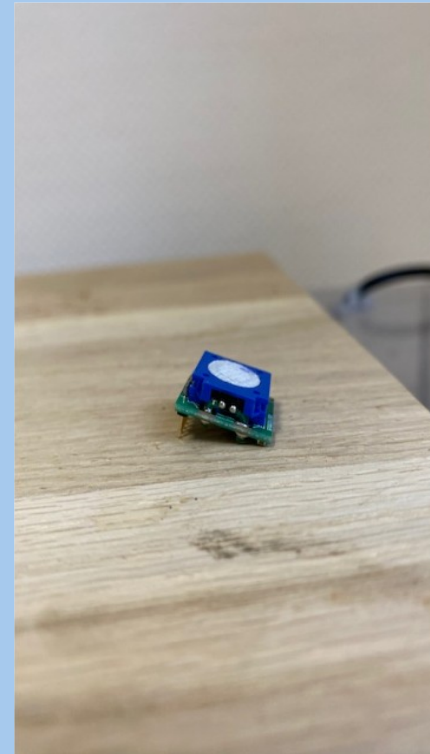


- capteur de CO2
- capteur de particules fines (30 euros)
- breadboard
- fil de connectique
- carte Arduino

# Matériel utilisé



Générateur d'Ozone  
prix : 109 euros



Capteur d'Ozone  
prix : 27 euros

# Image salle de sport



# Indice ICONE

## Formule de calcul

$$ICONE = 8.3 \log \left( 1 + \frac{n_1}{n_0 + n_1 + n_2} + 3 \cdot \frac{n_2}{n_0 + n_1 + n_2} \right)$$

$n_0$  : nombre de valeurs inférieures ou égales à 1000 ppm

$n_1$  : nombre de valeurs comprises entre 1000 et 1700 ppm

$n_2$  : nombre de valeurs supérieures à 1700 ppm

## Calcul d'indice

$$ICONE_{boite} = 8.3 \log(1 + 3 \times 1) = 5.81 \quad \longrightarrow \quad \text{Indice 5}$$

$$ICONE_{salle} = 8.3 \log\left(1 + \frac{39}{61}\right) = 1.78 \quad \longrightarrow \quad \text{Indice 1}$$